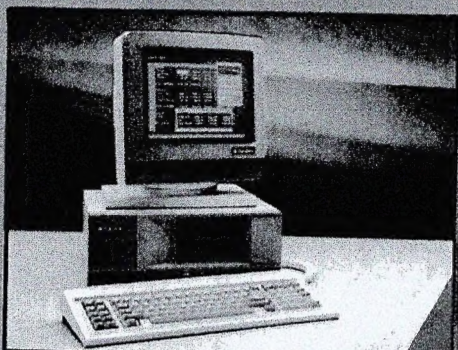
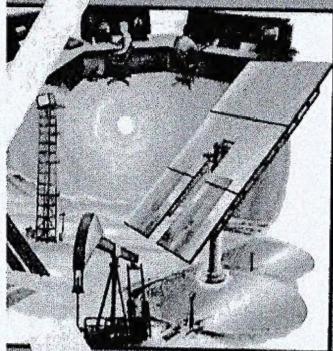


العالم المعاصر القرن العشرين



رَبِّهِ تَاتُونَ
مَدَّةً عَلَى مَقَلِّدٍ



تَارِيخُ الْعُلُومِ الْعَامِ
الْعَالَمِ الْمَعَاوِرِ
الْقَرْنِ الْعِشْرِيْنِ

تَارِيخ الْعُلُومِ الْعَامِ

المجلد الرابع

العلم المعاصر
القرن العشرين

بإشراف: رنييه تاقون
ترجمة: د. علي مقلد

جميع الحقوق محفوظة
الطبعة الأولى
1411هـ - 1991م

المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع
بيروت - الحمراء - شارع اهل افه - بناية ملام
هاتف: ٨٠٢٤٢٨ - ٨٠٢٤٠٧ - ٨٠٢٢٩٦
بيروت - المصيطبة - نهاية طاهر مالف: ٣١١٣١٠ - ٣١١٣١٠
ص.ب: ١١٣ / ٦٣١١ - فاكس: ٢٠٦٦٥ - ٢٠٦٨٠ - لبنان

العِلمُ المعاصِرُ القرنُ العِشرِينُ

هذا الكتاب ترجمة :

HISTOIRE GÉNÉRALE DES SCIENCES

publiée sous la direction de

RENÉ TATON

Directeur de recherche au Centre national de la Recherche scientifique

TOME III

LA SCIENCE CONTEMPORAINE

VOLUME II

LE XX^e SIÈCLE

par

C. ALLARD, P. AUGER, E. BAUER, B. BEN YAHIA, J.-H. BIGAY, L. DE BROGLIE,
J. CHESNEAUX, P. COSTABEL, P. COUDERC, R. COURRIER, A. DANJON, G. DARMOIS,
R. DEBRÉ, J.-F. DENISSE, A. DENJOY, G. DESBUQUOIS, J. DIEUDONNÉ, J. DUFAY,
D. DUGUÉ, M. DURAND, Ch. FEHRENBACH, J. FILLOZAT, M. FRÉCHET, R. FURON,
I. CODEAUX, A. GUINIER, A. HERPIN, P. HUARD, A. IHDE, M. JANET, I. JAUNEAU,
R. KEHL, A. LALLEMAND, M. LANGEVIN, F. LE LIONNAIS, J. LE MÉZEC, J.-F. LEROY,
J. LÉVY, P. MARZIN, J.-P. MATHIEU, E. MENDELSONN, P. MONTEL, P. MÜLLER,
R. NATAF, J. ORCÉL, J.-C. PECKER, J. PIVETEAU, P. RADVANYI, V. RONCHI,
J. RÖSCH, P. TARDI, R. TATON, J. TEILLAC, A. TÉTRY, M.-A. TONNELAT,
A. P. YOUSCHKEVITCH, V. P. ZOBOV

©PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

تمهيد

منذ مطلع عصرنا ، وبصورة فريدة ، منذ الحرب العالمية الثانية ، أخذ العلم يبدو ، وبوضوح متزايد ، وكأنه العنصر الحاسم في مستقبل الإنسانية . لا شك أن العلوم ، وبصورة أساسية العلوم التطبيقية والتقنيات ، هي التي تتدخل مباشرة ، وبشكل متزايد الضغط دوماً ، في حياتنا اليومية . وبشكل خاص من أجل إغناء وإنماء القدرة المادية في بلدانها ، تجهد غالبية الحكومات ، حالياً ، في وضع سياسة فعالة لإنماء « البحث العلمي » . ولكن تقدم التقنيات يتعلق بشكل أوثق بتقدم العلوم المحضة ، في حين أن كل تجديد تقني يستخدم حالاً من قبل المنظرين . فضلاً عن ذلك فإن كل عمل جماعي متماسك بقصد تطوير البحث التقني يجب أن يتناول أيضاً ، وبشكل تفضيلي ، البحث الأساسي .

في حين أنه ، في القرنين السابع عشر والثامن عشر ، نتج التقدم العلمي ، بشكل أساسي ، عن التقديرات الفردية التي قام بها الهواة أو العلماء المأجورين للملوك أو للأكاديميات ، رأى القرن التاسع عشر ظهور التعاون بين الباحثين داخل المختبرات ومؤسسات البحوث المستحدثة إلى جانب مؤسسات التعليم العالي . وفي القرن العشرين ، تسارع هذا التطور نحو العمل الجماعي ، وذلك من أجل تلافي مفاعيل التخصص المتزايد الذي فرضه التوسع السريع لمجالات العلم ، ومن أجل التمكن من استعمال أفضل للتجهيزات المتزايدة الكلفة ، المطلوبة من أجل الاستمرار في أعمال البحث . ومن المحتمل أن القيمة الثقافية العميقة التي تحققت للعلم كانت غير كافية لتؤمن له الدعم المادي المتزايد الأهمية ، والذي تقتضيه تطوراتهِ . ولحسن الحظ تمهّد الطريق أمام هذا التوسع المستمر في موازنات البحث العلمي والتقني ، بفضل الثبت من أن مستقبل كل بلد مرتبط ومحكوم ، إلى حد بعيد ، بالجهود المبذولة في هذا المجال .

إن هذه النهضة في مجال العلم لم تكن إلا لتثير بعض المخاوف التي لها ما يبررها أحياناً وذلك من جراء سرعتها ، وبفعل انعكاساتها التقنية . وعلى الصعيد الفكري ، أوشك التوسع اللامحدود في مجال العلم ، والتقنية المتزايدة في النظريات وفي الاكتشافات ، والتخصص المتزايد والمحصور ، الملحوظ بالنسبة إلى الباحثين ، أوشك كل ذلك أن يخلق سوء تفاهم متزايد

البروز بين أولئك الذين يشاركون في التقدم ، وبين بقية البشر ، التي لم تحكم إلا على النتائج المادية ، نتيجة عدم قدرتها على تفهم روحية هذا التوسع العلمي . وقد تفاقت خطورة هذا الطلاق بفعل التطبيق الآني المباشر للعديد من الاكتشافات لغايات وأغراض عسكرية . وإذا كان انفجار قنبلة هيروشيماء قد كشف ضخامة قوة التدمير التي وضعها التقدم التقني بين أيدي البشر ، إلا أنه لم يخفف ، في جميع الأحوال من حدة المنافسة في هذا المجال . لاشك أن العلم قد استفاد إلى حد بعيد من هذا الوضع وأن نتائج مهمة متحصلة في الفيزياء النووية ، أو في البحث الفضائي ، كانت ، بدون أدنى شك ، ستأخر كثيراً لولا الدعم الضخم والملائم من قبل الموازنات العسكرية أو الشبيهة بالعسكرية . إلا أنه لم يكن بالإمكان التغاضي عن المخاطر القصوى التي تتعرض لها البشرية من جراء هذا الواقع . ونتجت عن ذلك عدة نتائج سيئة وبصورة مباشرة ، فمن جهة أولى هناك سياسة التكتّم المفروضة بالنسبة إلى بعض البحوث ذات التطبيقات العسكرية ، ومن جهة أخرى هناك خوف بعض العلماء الذين يأنفون من متابعة أعمال من شأنها إن نجحت أن تؤدي إلى صنع تقنيات تدميرية جديدة .

إن التطور الحالي ، في الحياة العلمية ، يتضمن خطراً آخر جرد رهيب . إن التنسيق الضروري في مجال البحوث ، والتدخل الحتمي للسلطة السياسية في توزيع الاعتمادات الممنوحة يوشك بالفعل أن يقلص بشكل كبير الحرية المبدعة عند الباحثين . فهذه الحرية ، التي أضعفتها مقتضيات العمل الجماعي ، يمكن أيضاً أن تعاني من الإهمال النسبي للبحوث المجردة العارية من النفعية لصالح الأعمال المجدية المربحة بصورة مباشرة وآنية . فضلاً عن ذلك ، يستطيع بعض القادة السياسيين فرض نوع من التوجيه التسلطي ، إن لم يكن على الاكتشافات بالذات ، فعلى التفسير المعطى لها ، على الأقل . وقد أثبتت الوقائع المتعددة الحديثة نسبياً حقيقة هذا الخطر . ولكن نهضة التعاون العلمي الدولي بخلال السنوات الأخيرة قد حسنت الوضع إلى حد كبير . هذا التعاون ، المباشر والمخلص ، حمل علماء العالم كله على اعتبار أنفسهم ، فوق كل حدود سياسية أو أيديولوجية ، كأعضاء في نفس المجموعة ، متضامنين ، في مشروع الحقيقة المبتغاة .

ورغم عجزهم عن التخلي عن النتائج المتنوعة لاكتشافاتهم ، يهدف علماء اليوم إلى نفس الأهداف التي ابتغاهما أسلافهم : إقامة نظريات تجريدية ، ووصف عالم الفيزياء [الطبيعية] واكتشاف القوانين التي تحكم هذا العالم ، ثم دراسة بنية ، وسلوك ، وآليات تطور الكائنات الحية . إن التقدم المحقق في مختلف الاتجاهات هذه ، منذ مطلع القرن العشرين ، ضخّم ويتجاوز إلى حد بعيد بالعدد وبالضخامة ، التقدم الحاصل في أية حقبة من حقبة التاريخ البشرية . ومع ذلك ، لا يمكن الحكم بصورة موضوعية على العلم القائم حالياً إلا إذا وضعناه ضمن تيار التاريخ الكبير . وبعض المعجبين المتحمسين جداً للنجاحات وللاكتشافات المتحققة في عصرنا ، يقللون من أهمية العمل الجليل الذي تحقّق ، ضمن وتيرة بطيئة ولا شك ، إنما بواسطة وسائل بشرية ومادية محدودة جداً ، من قبل علماء القرون الماضية .

إن هذا المجلد الأخير هو امتداد للدراسة الحاصلة في المجلدات السابقة من هذه المجموعة ، مجموعة « تاريخ العلوم العام » . وهو يسعى إلى وضع لوحة كاملة وموضوعية ، ما أمكن ، لما حققه القرن العشرين في ميدان العلم ، ضمن المنظور العام للتاريخ العلمي لدى البشرية . وإذا كان التصور الإجمالي لهذا المجلد قريب الشبه من التصور الذي سبق اعتماده من قبل ، إلا أن بعض الخصوصيات المنبثقة عن الطبيعة ، وعن ضخامة المجال المستكشف ، يجب إبرازها .

لقد سبق أن ذكرنا ، بالنسبة إلى القرن التاسع عشر ، الاتساع المتنامي السرعة ، في حقل العلم ، والنمو المتسارع جداً في عدد المنشورات ، والتقنية المميزة جداً في غالبية الأعمال . في القرن العشرين ، برزت هذه المميزات بشكل أوضح ، خاصة بالنسبة إلى الحقبة الحديثة . ويمكن بدون جهد تصور الصعوبات التي تعترض مشروعنا من جراء هذا التسارع في وثيرة التقدم . ففي حين يؤكد أعظم العلماء المعاصرين أنهم لا يعرفون إلا قطاعاً ضيقاً من العلم ، هل بالإمكان وضع جردة إجمالية بهذا التطور ؟ أن الإجابة السلبية على هذا السؤال تؤدي إلى نكران كل قيمة عميقة لتاريخ العلوم وذلك يرد هذه القيمة إلى نوع من البحث الأثري في المعرفة التاريخية . ولكننا نعتقد ، بالعكس ، أن التاريخ يستطيع ويجب أن يرتبط ارتباطاً قوياً بالبحوث الأكثر جدة . هذا التصور وحده يعطي المعنى الكامل للاكتشافات الحالية ، مع تحويل انتباه الباحثين نحو هزال وضحالة الفرضيات والنظريات ، حتى ولو اعتمدتها غالبية علماء جيل ما تقريباً . والتاريخ بهذا المفهوم - إن نظرت فيه عقول واعية - يمكن أن تكون له قيمة استكشافية ، كما يمكنه أن يدل على بعض الخطوط المحتملة للإنجازات المستقبلية . أما الجمهور المثقف الذي يتابع بالتالي الأبعاد العامة لتطور مختلف فروع العلم ، فإنه يستطيع - برأينا - أن يقيّم ، بالتالي ، بصورة أفضل الفكر والاتجاهات في العلم الحديث .



إن المساهمين الكثر الذين شاركوا في هذا المشروع هم علماء معروفون ! وباحثون معيزون شاركوا بأنفسهم في تقدم مجالات العلوم التي درسوا تطورها . لا شك أن هذا العمل ، على الرغم من الجهود المبذولة في عملية التوليف والعرض ، من قبل هؤلاء المؤلفين ، وعلى الرغم من العمل التنسيقي الذي قمنا به بمساعدتهم ، يتطلب جهداً أكيداً من أولئك الذين يريدون قراءته للانتفاع به . وعلى الرغم من حرصنا على تلافي كل توسيع نافل ، فقد كان من المستحيل علينا التخلي عن استعمال بعض التمايير العلمية ، وحتى بعض المعادلات ، أوعن شرح بعض النظريات . فالتخلي يعني تفريغ المؤلف من محتواه وبالتالي جعله مجموعة حكايات - طرائف تبسيلية .

لقد حرصت الخطة المعتمدة في خطوطها الكبرى على تتبع البنية الحالية للعلم . وإن هي لم تتلّ رضانا الكامل ، فإن وجود جدول مفصل بالمواد يتيح ، على الأقل ، وبسهولة ، التمييز عن إمكانية تحقيق تصنيف طولي للعلوم . أما فهرس الأسماء ، ورغم بعض الثغرات في

المعلومات ، فهو يضم مادة مستندية تقدر فائدتها من قبل العديد من القراء .

وفي نهاية هذا الاستقصاء الكبير الذي أتاح لنا أن نتبع مسار الملحمة العلمية الإنسانية ، منذ الحضارات الأولى ، حتى آخر تطوراتها ، فإننا نريد أن نوجه الشكر المخلص إلى كل المشاركين في هذا « التأريخ العام للعلوم » ، الذين ارتضوا أن يتحملوا المشقات المتنوعة التي فرضها تحقيق مشروع يمثل هذا الاتساع ، لم يسبق إليه أحد ويمثل هذا المستوى . وكذلك نوجه الشكر إلى كل الذين أتاحوا مساعدتهم الثمينة الوصول بهذا العمل إلى غايته .

رنيه تاتون

الوجه الجديد للعلم

لا يشك أحد أن العلم قد أصبح ، في القرن العشرين هذا ، في مصاف العوامل الاجتماعية الكبير . والأمم الجديدة تتوجه إليه سعياً وراء التقدم الاقتصادي السريع . ونحوه أيضاً تتجه الأمم القديمة عندما تريد أن تسترد مزيداً من القوة للتغلب على أزماتها السياسية أو المالية . علماً بأن المعرفة ليست بذاتها هي التي تقدم الحل لهذه المسائل ، بل العمل الذي يمكن أن ينتج عنها ، وذلك بسبب اكتشاف مقدرات جديدة تم عنها .

ويصبح من الصعوبة المتناهية ، في القرن العشرين كما في القرن التاسع عشر ، فصل المعرفة العلمية عن العمل الذي ينتج عنها ، وهذا الرابط الضيق يتضمن نتائج مهمة : فمن جهة ، أن الوقت الذي يفصل الاكتشاف المخبري عن دخول تطبيقاته في الحقل الاجتماعي قد تضاعف تماماً . إن هذا الوقت المخاض ، بعد أن كان يقاس بعشرات السنين ، في منتصف القرن التاسع عشر ، قد أصبح بضع عشرات من الشهور ، وأحياناً أقل من ذلك بكثير ، وانعكاسات هذا القصر قد برزت بشكل خاص في حقل اقتصاد المشاريع ، إلا أنها قد تكون ذات أهمية اجتماعية وسياسية ، كما هو الحال في التسليح . ومن جهة أخرى ، أن العالم ، هذا الإنسان الذي يكرس الأساسي من نشاطه للبحث العلمي ، مدعوب قوة وباستمرار إلى الاهتمام شخصياً بما يمكن أن ينتج عن أعماله الموجهة ، في الأصل ، إلى زيادة المعرفة الخالصة .

إن سيكولوجية باحث المختبر تتحول أمام أعيننا ، وهذا التحول له بالضرورة انعكاسات على تقدم العلم بالذات . وأخيراً إن الوسائل التي يستطيع العالم الحصول عليها من أجل أعماله ، حتى ولو كانت ظاهرياً بعيدة جداً عن كل تطبيق مريح ، قد تزايدت بشكل كان يمكن أن يبدو مسرفاً للغاية في زمن باستور Pasteur ، بسبب الآمال التي تعلّقها الحكومات والمشاريع ، بشكل عام ، على نتائج البحوث العلمية . إن هذه الوسائل تضع تحت متناول الباحثين تجهيزات ومعدات كانت في الماضي فوق المتناول ، تجهيزات ومعدات تحملهم على التجمع بشكل مجموعات وفرق عمل من أجل تأمين استخدامها واستثمارها .

من المعلوم أن هذه المجموعات والفرق لها مستلزمات الكبري من الأفراد سواء كانوا باحثين علميين متفرغين أم مساعدين ومهندسين ضروريين في مختبرات حديثة . إن تأهيل هؤلاء الأفراد هو أيضاً بذاته مسألة ذات حضور عال بالنسبة إلى كل البلدان .

ما هي إذاً ميزات هذا العلم ، في القرن العشرين ، التي أوصلت إلى مثل هذه التغيرات في أسلوب تطبيق هذا العلم وتعليمه ، والتي منحت هذه المكانة الرفيعة في مدرج العوامل الاجتماعية ؟

أكتفي هنا بدراسة أربع من هذه الميزات ، تتعلق تبعاً بسرعة نمو المعرفة ، وبتوسع المجالات التي تمارس فيها هذه المعرفة ، ثم طوبولوجيا هذه المجالات - أي النظر إلى أوضاعها وعلاقاتها المتبادلة - وأخيراً التحويل التوعوي الذي وضع دراسات البنية في المقام الأول من اهتمامات الباحثين .

نمو العلم - لقد قيل وتكرر القول أن العلم ، في مجمله ، يتبع تهباً تزايدياً سريعاً . وبالفعل إن كل المعايير التي تسمح بتقدير هذا العلم تقديراً كمياً - مثل عدد الباحثين ، وعدد المنشورات الأصلية بالسنة ، وعدد الاكتشافات بخلاف هذه الفترة نفسها ، أو النتائج التي أفضت إلى تطبيقات عملية - كل هذه المعايير تفترض تضعيفاً في كل عقد . ضمن هذه الشروط ، كان على تاريخ العلم بخلاف النصف الثاني من القرن التاسع عشر أن يتكرر بخلاف النصف الأول من القرن العشرين ، إنما بخمسة أثمان أكثر ، ثم ، بنوع ما هذا صحيح ، إنما من وجهة نظر الإحصائي وفيما يخص مجمل العلوم ، إذ أن مع النظر في الأمر من قرب ، يبدو هذا التصور بعيداً جداً عن الواقع . فقبل كل شيء ، يجب أن نلاحظ أن العامل 30 - في حين أن الكثير من النشاطات الأخرى ، عند الإنسان ، حتى في مجال الفكر ، كانت أعجز من أن تتابع مساراً مسرعاً إلى هذا الحد ، ولم تحقق إلا تقدماً مضاعفاً أو مثلثاً - يحول تماماً موقع العلم في المجتمع . وهذا النمو العلمي توقف هنا عن أن يكون عاملاً اجتماعياً ذا أثر بطيء وضعيف ، ليصبح عاملاً ذا مفعول سريع وقوي . وبالتالي ، إن تأثيره غير التوازات بين العوامل الاجتماعية الأخرى المتنوعة ، وهذا التغيير ، بدوره ، كان له أثره على تطور العلم بالذات . من ذلك مثلاً ، أن المستوى الصناعي - أو مكانة العلوم في الصحافة ، كتب وصحف يومية - أثر بقوة في صفة النمو العلمي ، منذ العقود الأولى من القرن ، وبصورة أكبر بخلاف العقود الأخيرة من نصف القرن .

ومن جهة أخرى ، أن النمو المتزايد بكثافة ، أعجز من أن يعطي صورة صحيحة عن تقدم العلوم ، خاصة عندما تحلل هذا التقدم من خلال المجالات المتفرقة ، وفي المناطق المتنوعة من العالم أو بخلاف الحقب الزمنية . وفيما يتعلق بمختلف فروع العلم ، فإنها لم تنوجد بذات اللحظة ، وعلى نفس المستويات من نموها ، وبعض المجالات العلمية المعقدة ، أو الحديثة العهد ، ربما لا تزال في مرحلة تعريف المفاهيم الأساسية ، أو في مرحلة تجميع الوقائع وتصنيفها ، في حين أن علوماً أخرى تقوم بوضع المبادئ العامة الكبرى : ونذكر هنا العلوم الاتولوجية والفيزياء مثلاً .

هذا الوضع النسبي قد تغير إلى حد كبير بخلاف النصف الأخير من القرن ، محولاً بالتالي

نظام التأثيرات المتبادلة بين مختلف الفروع العلمية ، وداعياً إلى مراجعة عميقة لتصنيفاتها . إن مثل هذه الفروقات في سرعة النمو برزت داخل بعض المجالات بين مظاهرها النظرية والتجريبية . وتتلقى المظاهر النظرية أحياناً تغيرات مفاجئة ضخمة بفعل تدخل مفكر واحد أو مجموعة صغيرة ، في حين تتبع التجريبية عموماً حركة أكثر انتظاماً ، إلى جانب بعض الاكتشافات المهمة . ولهذا أمكن - في مجال الفيزياء ، وبخلال النصف الأول من القرن العشرين - ملاحظة تراجع النظرية أمام التجربة ، ثم تقديم مساحق للنظرية يطرح العديد من المشاكل الجديدة ، ثم ربما بالعكس في الوقت الحاضر ، نوعاً من تخلف النظرية عن استيعاب التدفق العظيم لنتائج التجارب المكتسبة في مجال الجسيمات الأولية . إن الاستراتيجية العلمية تستدعي تركيز الجهود مرة في مجال معين ، ومرة في مجال آخر ، على النظرية أو على التجربة ؛ ولكن الناس هم بالضرورة متخصصون في وظائفهم بالذات ، وتكيفهم مع مجال جديد ، وإن بدا ممكناً في أغلب الأحيان ، يتطلب الكثير من الوقت ومن الجهود . ثم هناك تصلب الكادرات الإدارية والاجتماعية ، العاملة في مجال البحث ... ورغم ذلك نشهد حركات مفيدة ، مثل انتقال العديد من الفيزيائيين والكيميائيين نحو البيولوجيا الحديثة الخلوية والجزيئية .

والنمو سواء كان متسارعاً أم غير متسارع في تصعيده ، يبقى تصعيداً في جميع الأحوال ، وفي جميع المجالات العلمية بحيث جرّأ إلى توسيع مجال دخول الإنسان بممرفته وإلى تحكمه بفعل عمله . سواء تعلق الأمر بالأطوال أو بالآزمنة ، بالطاقة أم بالضغط ، فإن سلالمة قيم هذه المعايير التي تجوب بشكل اعتيادي أجهزتنا قد تزايدت واغتنت بالعديد من المثقلات العشرية بخلال الخمسين سنة الأخيرة . ففي حين كان الاعتقاد سائداً في القرن الماضي أن الاستيلاء على كسر أو كسرين عشرين ربما يمكن من تبرير وجود مجال علمي جديد ، ها هم العلماء يقدمون لنا مرة واحدة خمسة كسور عشرية جديدة . وبدأ من الضروري وضع نظام تسميات جديد ، لأن نظام « الميلي » و « الكيلو » لم يعد يكفي ، وكذلك نظام « الميكرو » و « الميغا » وها هي تسميات « الجيغافولت » و « النانو ثانية » قد أصبحت شائعة . وأصبح من الطبيعي ، ومن مقتضيات الأشياء أن يتجاوز الإنسان المجالات الواقعة في متناول حواسه ، ولكن مثل هذا الانفجار لم يكن متوقفاً من أحد ، تخي من قبل الباحثين في الاستباق العلمي . وهذه بعض الأرقام التي تعطي عدد المثقلات العشرية من السلالمة المتاحة سنة 1900 و1960 : أن الأطوال انتقلت من 10^{20} إلى 10^{40} ، والزمن من 10^{10} إلى 10^{16} ، والحرارات من 10^5 إلى 10^{16} ، وفي كل مرة مكتسبات من عيار المليون وأحياناً أكثر بكثير . ومن الواجب أيضاً ذكر معايير أخرى ، سوف نلتقيها فيما بعد ، منها معيار النقاوة ومعيار الدقة . إن المستوجات الصافية كيميائياً والتي كانت في الماضي ، قد تجاوزتها المعادن وأشباه المعادن المنقاة المصفاة بفضل طريقة المناطق : فقد أمكن التوصل بسهولة إلى نقاوة بمعدل واحد على مليون . وتشدد الذريين حمل على صنع العديد من الأجسام ذات النقاوة الأعلى أيضاً . وبالنسبة إلى بعض البلور ، أصبح وجود شائبة من معدل واحد على مليار قابلاً للاكتشاف . وأصبح الفيزيائي اليوم أكثر تشدداً من الكيميائي ، فيما يخص النقاوة ، وفيما يخص نقاوة الأجسام المستعملة أو نقاوة السطوح .

والمسألة التي تخطر بالبال أولاً هي التالية : كم من الوقت يستمر هذا السباق المرعب ؟ ألم تقترب من الأبعاد التي تفرضها بنية كوننا ؟ نأخذ حالة الأطوال . أن الحجم الشامل للكون المدرك بفضل آلات الرصد الفلكي الراديوية هو من معيار عشرة مليارات سنة ضوئية . وبعد ذلك يصبح تنقل الطيف بحيث يتوجب في الحال التوقف عن التعرف على أي شيء مهما كان . وفي اتجاه الصفر ، هناك مؤشرات تدل على وجود طول أدنى ، تحته تصبح مفاهيم المسافة غير قابلة للتطبيق . والسلم عندها يصل إلى 40 أو 50 تنقيلاً للعشرة ، بحيث لا يمكن تجاوزه . وسلم الزمن مرتبط تماماً بسلم المسافة بحيث تطاله نفس الحدود . أما وضع المعايير الأخرى فيمكن أن يظهر بشكل مختلف ، ومع ذلك فمن المحتمل عجزنا عن الاستمرار في إضافة ستة أمسات فوق العشرة كل نصف قرن من الزمن .

توسع طوبوغرافيا المجالات العلمية - إنَّ العبارات التي استعملناها لوصف تطور المعارف العلمية مأخوذة عن صور مرئية وتكاد تكون جيومترية : توسع المجالات ، واكتشافها ، واتصالاتها الممكنة . وهكذا نقاد إلى بعض التاملات - يصفها الرياضيون أحياناً بأنها طوبولوجية [الطوبولوجيا : فرع من الرياضيات يهتم بتحليل التغيرات في مواقع الأشياء . . .] - وذلك من أجل تمييز الوضع المقابل لمناطق المعرفة والجهل في المجهل الكبير لما يمكن أن يعرف بالفعل . في يوم من الأيام . ويبدو لي هنا أنه قد حدث تغيير كبير مهم بخلاف النصف الأخير من القرن . إن المجالات العلمية الكلاسيكية القديمة ، بعد تعميق وتوسيع مجالها التقليدي ، قد تواصلت فيما بينها في بعض من مناطقها الحدودية ، فولدت سلسلة من المعارف المختلطة : بيوكيمياء وبيوفيزياء ، والكيمياء الفيزيائية والكيمياء الرياضية ، اتخذت مكانها إلى جانب السلسلة الخطية في تصنيف أوغست كونت Auguste Comte .

وربما ، إذا ذهبنا إلى أبعد ، نستطيع أن نصف الوضع القديم وكأنه مجموعة جزر من المعارف ، محاطة ومفضولة بخضم واسع من الجهل ، في حين تظهر المعرفة اليوم وكأنها تشكل قارات واسعة تربط فيما بينها برازخ ، داخلها توجد بحار كبرى داخلية من الجهل . أن هذه الصورة ربما تكون شديدة التفاؤل ، ولكنها تبدو وكأنها تمثل رمزاً صحيحاً للحركة المعجية ، حركة التوليف التي تحدث أمام أعيننا . وسوف نرى فيما بعد على أية أساسات يمكن الأمل بتحقيق هذا التوليف ، في حين أن المحاولات القديمة - التي جرت انطلاقاً من الأفكار النيوتنية وحدها - لم تستطع الذهاب إلى أبعد . وأضيف بأن الشعور بالمشاركة في واحدة من لحظات مثل هذا المشروع العظيم ، يجب أن يكون أحد محركات حماس الباحث والمفكر العلمي ، مضافاً إلى افراح المغامرة والاستكشاف . إنَّ الرغبة العميقة بالوحدة (unité) ، والتي توجد عادة لدى كل إنسان ، هذه الرغبة بالذات التي حملت في الماضي على إنشاء الأنظمة العالمية المرتكزة على المشابهات السطحية وحتى على التماثل السطحي المصطنع في بعض الكلمات ، تتلقى بالنسبة إلى المشتغلين بالعلم ، ارضاء حقيقياً هذه المرة . ويمكن أن نقول بتواضع ، وحتى لا نقدم أمالاً وهمية ، أن بعضاً من التراكيب العريضة والجزئية - والتي أصبحت كلاسيكية مثل التركيبية التي تتضمن كل الاشعاعات الكهرومغناطيسية ، منذ أشعة « غاما » (γ) الكونية إلى الموجات الطويلة في

الراديو - قد ألحقت بها اليوم سلسلة من التركيبات الأخرى الجزئية الأكثر فأكثر اتساعاً ، والتي بشأنها لا يمكن الرجوع إلى الوراء إطلاقاً .

وإذا كانت جزر المعرفة قد أصبحت قارات ، فإن هذه الأخيرة لم تعد موصولة فيما بينها بشكل أكيد جداً ، ولكن هذا الاتصال بالذات قد يحدث سريعاً ، وعندها يتم بلوغ مرحلة من البحث تذكر بالحقة النهائية ، حقة وضع قطع لعبة من اللعب التي تتطلب الصبر : فيتم البدء بتركيب صغيرة محلية ، ليس لها فيما بينها أي رابط ، ولا أية مواقع نسبية جيدة التحديد ؛ ثم تتكون جسور ، وتتشكل شبكة ، ولا يبقى إلا سد الثغرات في الصورة التي تتحدد سماتها الكبرى نهائياً . ومع ذلك ، فإننا لم نصل بعد إلى هذا ، والكثير من القطع ما يزال مفقوداً ، ولا نزال نحن نفتقر حتى إلى شكلها .

هذا التحول في وضع الباحث أمام الطبيعة ، هو بالطبع ، نتيجة التقدم العام ، تقدم المعارف . أنه لمن الواجب المحتوم ، بنوع من الأنواع ، أن تخلف حقة القارات حقة الجزر ، عندما تنامي الأراضي المشتركة . ولكن هناك فائدة في التماذي في تحليل هذا الانتشار ، حتى ولو من أجل الاستعداد للمستقبل . ونرى عندها أن التطور لا يقوم أساساً على نوع من التوسيع المتصاعد للجزر التي تكلمنا عنها أعلاه ؛ إن مجالات المعرفة تبدو أحياناً متباعدة ، تفصلها مناطق مجهولة ، كما هذه النيران في الغابات ، التي « تقفز » ثم توصل ، فيما بعد ، ويسرعة المناطق الجديدة بالحدود القديمة ذات الحركة البطيئة .

إن بعضاً من هذه الففزات - المتطابقة مع ظهور فكرة جديدة تماماً والتي حولها تنتشر ويسرعة غير معهودة ، بالخالص ، جبهة جديدة من الاكتشافات - قد تكاثرت عدداً - عند منعطف القرن ، ومن جديد حول سنة 1930 ، بالنسبة إلى الفيزياء . ومنها : أشعة X ، ونشاط الإشعاع (Radio - activité) ، والكانتا من جهة ، ونظرية النسبية من جهة أخرى بين 1895 و 1905 ، ثم تلاها توضيح بنية الذرة بين 1913 و 1928 ؛ ثم الميكانيك التكملي والتترو (النيوترون) . بخلال هذه العقود الثلاثة ، استقرت كل الأسس الجوهرية للأفكار القائمة حالياً حول بنية المادة ، على الصعيد الذري وعلى الصعيد النووي ، وبعدها أصبحت التطورات اللاحقة محتومة نوعاً ما .

وربما أستطيع هنا أن أقترح تمييزاً بين فئتين من الاكتشافات العلمية ، وهذا دونما أي إشراك لفضل العلماء - بل - بصورة أولى - الاكتفاء فقط بموقع اكتشافاتهم في المنظور الطوبولوجي الذي عالجه أعلاه . وعودة إلى تعبير استعملته منذ لحظة ، هناك اكتشافات هي ، نوعاً ما ، محتومة ، يتوجب أن تحدث في حقة من الزمن محدودة نوعاً ما ، بفعل نشاط البحوث وبعده الباحثين في المجال الموازي من العلم . ومرة أخرى أيضاً ، لا يتعلق الأمر هنا بكفاءة الباحث ، وسوف أقدم الدليل على ذلك ، آخذاً كأول مثل ، اكتشاف أشعة X من قبل رونتجن Röntgen . أظن أنه نظراً إلى عدد الفيزيائيين الذين كانوا يلعبون بأنايب كروكس Crookes ، لم يكن بالإمكان أن يمضي كثير من السنين قبل أن تلاحظ مفاعيل أشعة X إما على الشاشات المفلورة ، وإما على الصفائح الفوتوغرافية ، أو على المكشاف الكهربائي . واني أضع بالمقابل كإكتشاف عير محتم ،

وبأمد قصير ، الاكتشاف الذي حققه هنري بيكريل (H. Becquerel) . وكان يمكن أن يمضي نصف قرن قبل أن يتم إثبات تفكك الأورانيوم . لقد كان رونجن في أساس أعمال فون لور Laue ، وآل براغ Bragg وموزلي Moseley الخ . ونجد هنا سلسلة جميلة من الأعمال التي مكنت من تقدم مفاجيء ، ومدت جسراً بين مجالات ظلت حتى ذلك الحين منفصلة عن جزر المعرفة ، مثل مجال البلورات ، أو معنى جدول مندليف Mendéléev . لقد غرس بيكريل ومرة واحدة علم الفيزيائيين والكيميائيين فوق قارة جديدة . وفي مجال النظرية ، يمكن إجراء مقارنات مماثلة بين « النسبية » الضيقة و « النسبية » العامة . بالنسبة إلى الأولى ، لقد لاسمها بوانكاريه Poincaré وآخرون : فضلاً عن ذلك ، ان تجارب ميشلسون Michelson ومورلي Morley لم تدع الفيزيائيين ينامون . وبالنسبة إلى الثانية ، كان بإمكان الظواهرات الفلكية غير المفسرة أن تنتظر أيضاً عدة سنوات . وكذلك « الكاثا » التي اكتشفها « بلانك » Planck كان يمكن أن لا تظهر إلا بعد عشرين أو ثلاثين سنة ، بعد أن فرضتها يوملد مفاعيل الكهربائية الضوئية . فضلاً عن ذلك يمكن تخيل عدد المختبرات التي كان يمكن أن تظهر (أو أنها قد أظهرت أحياناً) وبأن واحد ، بعض الاكتشافات التي كانت « عالقة في الهواء » . فكروا بظروف اكتشاف رونجن واكتشاف بيكريل من هذه النقطة . أما بلانك ، فإن أحداً لم يقترب من حله لمسألة الأطياف . ونفس التمييز ربما يقع بين دور لويس دي بروغلي Louis de Broglie ودور شرودنجر Schrodinger .

علم التابع ، البنية والاعلام - من المؤكد ، في جميع الأحوال ، أن بعض الاكتشافات التي طبعت بطابعها ، خاصة في الفيزياء ، مشارف سنة 1900 ، هي من الاكتشافات التي فتحت الأبواب على مجالات جديدة تماماً . بل أقول أنها أعطت توجهاً جديداً خالصاً للفيزياء ، وبالارتداد لمجالات أخرى مثل الفلك ، والبيولوجيا والكيمياء . وإذا توجب أن يتميز هذا التوجه بفكرة بسيطة فلاني أختار فكرة « البنية » . أن قسماً كبيراً من العلم في القرن التاسع عشر قد وضع تحت شعار استمرارية القوانين من النمط النيوتني (نسبة إلى نيوتن) . ومثل الترموديناميك ، والكهرمغناطيسية الكلاسيكية ، سبل تطوير مثل ، وأصبح بالإمكان اليظن أن مظاهر الكون سوف تتسجل أخيراً ضمن مثل هذه الأطر . صحيح أن بعض المجالات بقيت مستعصية بشكل فريد - من ذلك مثلاً مجال أطياف الخيوط الضوئية - وأن بعض مجملات الوقائع بدت وكأنها ستبقى لمدة طويلة ضمن فئة « المعطى غير القابل للتفسير » مثل جدول العناصر الكيميائية ، ولكن الأمل بالنجاح في فهم العالم عن طريق استخدام القوانين المستمرة وحدها ظل باقياً ، وربما مطبقاً على عناصر غير قابلة للتصفية يتوجب عندئذ وكل بساطة قبلها كما هي . وعلى العموم ، هناك نوع من امتداد الكون النيوتني ، متضمناً أجساماً معينة ، من الأسام وغير قابلة للفهم ، إلا أن كل علاقتها تكون محكومة بقوانين ترضي العقل .

وفجأة وبالضبط مع مجيء القرن الجديد ، حدث تمزق أدخل عدم الاستمرارية في صميم المجال الذي كان توقعها فيه هو الأقل ، وهو مجال الطاقة ، هذا المكسب العظيم للترموديناميك ، هذا النمط الفيزيائي العظيم ، هذا الجوهر البسيط الذي ينتقل دون ضياع من نظام إلى آخر ، وجد فجأة محكماً مبرمجاً ، وتوقفت المبادلات عن أن تخضع لقوانين الرياضيات الجميلة المستمرة

وتعلقت بحساب ذي مظهر طفولي . ولكن الأمر لم يكن إلا بداية تحول كبير في العلم ، متوافق مع توجه مصمم نحو دراسة الهيكليات . وإذا كانت مجالات العلم غير الفيزياء لم تتلق تحولاً ملحوظاً إلى هذا الحد أثناء تدخل الكائنات ، فإن تأثير طرق الاستقصاء الفيزيائي المؤدية إلى الدراسات البنيوية ، قد برز بقوة شديدة في الكيمياء والبيولوجيا في القرن العشرين . وأصبحت الصيغ المتطورة في الكيمياء نماذج حقة ، تمتلك أحجاماً وزوايا قابلة للقياس . أن تحليل مركبات البروتوبلازما الخلوية أدى إلى التعرف ، فيها ، على أشياء مصورة متناهية الصغر من أحجام الخلايا الكبيرة ، مما جعل البيولوجيا الخلوية منعطفاً بين الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا . ويمكن القول أن الرياضيات نفسها قد طورت منذ عدة عقود مفاهيم تجريدية ذات طبيعة بنوية .

ومن بين المجالات الجديدة المفتوحة أمام العلم بفضل الدراسات البنيوية ، يجب ذكر مجالات الخلايا الجامدة والكبيرة . في القرن الأخير كانت الجوامد تعتبر وكأنها تشكل أشياء كثيرة التعقيد يصعب وصفها بالتمام والكمال ، من قبل علم ، بل يصعب درسها درساً مجدياً :

إن الموضوع المثالي ظل الغاز ، المحدد بعدد قليل من المعايير الثابتة (Paramètres) ، وبدرجة أقل المسائل الذي اكتشفت فيه ، سابقاً ، بنيت زائلة صعبة الدرس . وباستثناء البلور ، الذي ظلت دراسته ماكروسكوبية (تعنى بالأشياء الظاهرة لا الدقيقة) ، لم تكن الجوامد مجالاً لتجارب منتجة حقاً : أن العديد من العينات من نفس الجسم كان يختلف بعضها عن بعض بتاريخها ، وحتى نفس العينة تختلف عن نفسها في الزمن بشكل غير متوقع علمياً . وإنه لمن مكاسب القرن العشرين الكبرى النجاح ليس فقط بالتغلب على هذه الصعوبات ، بل وحتى بالإكثار من استخدام الجوامد بشكل عجيب . وبالضبط لأن الجوامد تحتفظ بأثار باقية عن الأحداث التي مرت بها ، يمكن تكوين تشكيلة كبيرة من الجوامد التي تمتلك خصائص خاصة محددة ومفيدة في العلم والتقنية ، وفي الاستعمال العادي . وبالضبط لأن للجوامد تاريخاً ، يمكن استخدامها لتكون مذكرات مصطنعة ذات قدرة غير محددة . والواقع ، يمكن القول أن الاستخدام العملي قد استعمل في كل وقت هذه الخصائص في الجوامد : بواسطتها أمكن دائماً صنع الأدوات والإجهزة ، وإليها أسندت المحفوظات الباقية والمراسلات ، وإليها تم اللجوء من أجل إعادة تكوين الأحداث الماضية . ولكن الآن فقط ، بعد أن تولى العلم الجوامد بعنايته ، أمكن الاستفادة منها بشكل معقول وكامل .

في مجال الجزيئات الكبرى يمكن أن نلاحظ تطوراً من نفس النمط . في القرن الأخير ، أمكن - إلى جانب الأجسام التي يمكنها أن تتبلر - ملاحظة وجود أجسام أخرى ظلت بدون هيكلية حتى في حالة الجمودية ، وكانت تسمى معجنات (كولويد) سناً لحالة من حالاتها النمطية وذلك هو حال الهلام (الجيلاتين) . فالمعجنات المذابة ، أو على الأقل الموزعة في مذيب مثل الماء ، لا تنتشر إلى جزيئات أو إيونات مثل « المثبرات » ، بل تبقى مجموعة ضمن مجموعات ذات أحجام أكبر ، تسمى ببساطة « غبائر » [Micelles جزئية من قياس 0,001 ميكرون إلى 0,3 ميكرون] ، مما يدل على الجهل الكامل السائد بشأن طبيعتها . هذه الغبائر كانت تبدو ذات شكل

غير محدد ، متغيرة - وككل الأجسام الجامدة التي سبق ذكرها - غير مشجعة . لقد غُيِّرَ قرننا كل هذا ، وذلك حين توصل إلى البنية الحقيقية للغبائر التي اعتبرت جزئيات كبرى ، وإلى طبيعة غالبية « اللدائن » فاتحاً بذلك فصلاً جديداً كبيراً في البيوكيمياء . وقد أدت هذه البنيات ، فضلاً عن ذلك ، إلى تحقيق تكوين جزئيات تركيبية كبرى ، بشكل منتظم ، سُمِّيت « الأمهات المتعددة » (Polymères) ، تقليداً للموجودات الطبيعية ، بل وحتى توسيعاً لمجالها .

وبعد الدخول في التفصيل الدقيق جداً في بنية بعض الخلايا الكبرى ، استطاع علم القرن العشرين ، أخيراً ، التعرف على طبيعة السند لما كان القرن الماضي قد أشار إليه بكلمة عامة هي كلمة « خصوصية » (Specificité) . لماذا أظهرت بروتينات متنوعة - ذات تركيب كيميائي شامل ، ومتشابهة تماماً - خصائص متنافرة جداً ، تجاه الكائنات الحية أو تجاه بعضها البعض ؟ نحن نعرف الآن أن هذه الخصائص العلمية مدونة بشكل « أخبار » ، أي بشكل سلاسل متتالية ، أو ، بشكل عام ، على هيئة ترتيبات في فضاء عناصر مبنية يمكن أن تكون متعددة جداً ، إنما متمية إلى عدد صغير جداً من الأنماط . أن الموازنة بالإعلام الموجود في صفحة من الكتابة ، بالترتيب الخاص للعناصر المتعددة الداخلة ضمن الألفباء ، هي موازنة ملفقة . وقد يكون من المفيد إعلاماً التذكير ، في هذا المجال ، كيف تمت الاستفادة من هذه الخصوصية ، قبل التعرف الأولي عليها ، في الطب ، ثم كيف عرفت وأمكن تحليلها وإنتاجها صناعياً . لقد قدمت هذه الخصوصيات ، بشكل طبيعي ، النباتات التي كان لبعض متوجاتها فائدة معروفة منذ العصور القديمة . وهناك خصوصية أدق وأوضح ظهرت بعد اكتشافات باستور Pasteur ، كمنتوج طبيعي - إنما ضمن تحفيز مفتعل صناعياً - مستخلص من الحيوانات . وفي حقبة القرن العشرين تم التعرف على بعض المركبات الكيميائية التركيبية ذات الخصوصيات الملحوظة في مقاومة البكتيريا ، وذلك بذات الوقت ، مع مستحضرات طبيعية من النباتات هي المضادات الحيوية . وأخيراً أُنْأحت دراسات البنية الخلوية فهم السبب لبعض هذه الخصوصيات ثم إنتاج بعض المواد الطبيعية بصورة اصطناعية . إن المحاولات المنهجية في الكيمياء الاحيائية الصيدلانية الحديثة ، وكذلك أعمال تركيب الجزئيات المعقدة ، كل ذلك بدا واعداداً للمستقبل ، مع فهم أشمل للخصوصية ، ولإمكانات الضخمة المأمولة من العمل الطبي . من المعلوم أن نظرية الاعلام قد اتخذت في كل العلوم مكانة متزايدة الأهمية ولم يتح لها ذلك إلا بسبب هذا التحليل البنيوي الذي أشرنا إلى نموه والعلاقة العميقة مع نظرية حالة الجمود ، مثل الخلية الكبيرة والجينة الكروموزومية (الصبغية) ، والصفحة الكتابية ، والتسجيل على قرص أو على شريط مغناطيسي ، والبطاقة المثقوبة ، والكلية الفوتوغرافية ، وكلها دعائم متينة قوية لإعلام تتضمنه بنية ميكروسكوبية .

إن هذه الأعمال حول الاعلام تلقي ضوءاً على كل البيولوجيا ، وعلى الكيمياء وعلى المجالات الأخرى العلمية في مستوى العلوم الإنسانية فتقيم بينها روابط ومعارف وتتيح لها رؤى إجمالية لم تكن مأمولة على الاطلاق لبضع سنوات خلت . والمقارنة مع التوحيد بين مختلف الميادين ، هذه المقارنة التي أُنْأحت في زمنها فكرة الطاقة ، سوف تكون مثقفة بمقدار ما يوجد بين الطاقة والإعلام نوع من التكامل ولا شك ، كما هو الحال بين المادة والشكل . وعلى سبيل الدعاية

يمكن العثور على هذا التكامل بين المهندسين الكهربائيين الذين ينقسمون إلى فئتين متميزتين تماماً : مهندسو « التيارات القوية » الذين يخدمون الطاقة ومهندسو « التيارات الضعيفة » العاملون في الإعلام . أن العصر الحديث قد شاهد بشكل من الأشكال الطاقة المفصلة عن طريق الاعلام . والاعلام والطاقة لا يفصل أحدهما عن الآخر ولا يوجد إعلام بدون طاقة حرة مهما كانت ضعيفة . وكل الاعلام المتوفر عن طريق الراديو أسترونوم (علماء متخصصون في دراسة الاشعاعات) منذ بداية هذه التقنية ، لا يقدم في مجال الطاقة إلا بعض الارغاث (وحدات قياس الطاقة) التي انتقلت في المجرات إلى آلاتنا اللاقطة .

إن دراسات البنية قد بلغت ، عبر التحسينات التقنية ، مستويات يزداد عمقها . فبعد بنيات البلورات والجزيئات والذرات ، ثم إخضاع هذه البنيات للقوانين الرياضية الملائمة ، وبعد النجاحات الكبرى في ميكانيك التارجح والنظرية الكانتية (نسبة إلى كانت) في الحقول الكهربائية المغناطيسية ، جاء دور الجسيمات الأساسية جداً لتخضع للتحليل البنيوي . وكشفت النوى عن مستوياتها ، وبدت جزيئات الأجناس المختلفة تعيش فيها حالة وجود عابر . أما البروتون (الأول) فلم يكن شيئاً بسيطاً بل كشف عن تفصيلات داخلية محتملة . ولكن هنا بدأ مظهر جديد لعلم القرن العشرين ، يمكن أن نميزه كتحليل لفكرة الوجود الموضوعي . وقدم لنا الميكانيك التارجحي ، كنتيجة للحساب ، ليس الأوضاع المتتالية للجسيمات وحركاتها ، كما هو الحال في الميكانيك السماوي ، بل قدم لنا احتمالات وجود هذه الجسيمات في مختلف الأمكنة . بصورة أدق جاء مبدأ اللايقين يحدد العلاقة بين التوضيحات الممكنة البلوغ في تحديد موقع جزيء وفي موقع حركته . ولم تكن الدقة المتزايدة في القياسين في آن واحد ممكنة بل بقي هناك نوع من الخلطة ذات القيمة الكونية ، مرتبط بثابت بلانك Planck وفي داخلها لا يمكن لأي قياس أن يدخل . أبة حقيقة موضوعية يمكن أن يقدمها المفهوم البديهي جداً حول الموقع وحول مفهوم السرعة ، وهو المفهوم الأقل ارتباطاً ؟ لا شك أن الأمر يتعلق هنا بالأبعاد الصغيرة جداً ، كما أن الأشياء تبقى على حالها ، في ما يتعلق بالعالم عند مستوانا . إلا أن هذه « الاحتمالية » وهذه اللايقينات قد تبلغ أحياناً مستويات ناشطة في عملية الحياة .

وفي المستويات التي هي أبعد ، أي المستويات داخل النوى وداخل الجزيئات العارضة ، ذات السمات الغريبة نوعاً ما والتي أتاحتها فيزياء الطاقات الكبرى ، يبدو أن العلم قد اقترب من التحولات الجديدة ، كما أوحى بذلك الصعوبات التي ظهرت في مسائل التقابل التي سميت مسائل التعادل . وهنا أيضاً الحتمية ، التي يشكّل مبدأ كوري Curie - أو مبدأ المناظرة أو التقابل .. أحد عناصرها الأساسية ، لا تستقيم إلا بصعوبة أو حتى بصورة جزئية . إنما الواقع الموضوعي الأساسي هل يدخل في طبيعة الاحتمالات أم أنه يوجد واقع متماسك وديق وكامن ؟ لا شك أن الفيزياء في القرن الواحد والعشرين هي التي سوف تقدم حلاً لهذه المشكلة ...

القسم الأول

الرياضيات

إن الحياة العصرية مطبوعة بالرياضيات . فكل الأعمال وكل الأبنية التي قام بها الإنسان تحمل أثراً في الرياضيات ، فحتى أفراننا الجمالية وحياتنا الأخلاقية تبدو متأثرة بها .

إن عدد العمال المهتمين باكتشاف الرياضيات وإغنائها ونشرها في تزايد مستمر . لقد مضى الوقت الذي كتب فيه شخص مثل كلود برنار Claude Bernard : « في العلم هناك عمالقة وأقزام ، ولكن يبدو أن الأقزام تصعد فوق اكتاف العمالقة فيرون أبعد منهم » . وبين الفريقين يقف الآن كل الذين لم يشقوا طريقاً جديدة ولكنهم يقدمون للعلم الرياضي قدرتهم في تمحيص المسائل في العمق ونوسيعها في المساحة . إن المنتج السنوي قد أصبح ضخماً ، والنظريات تنكاثرت وتتجزأ وتتسع . والمفاهيم الفطرية حول العدد والوظيفة ، والرسم ، تتغلف بمزيد من التجريد . فضلاً عن ذلك وكلما تعاظمت كرة معارفنا ازداد عدد نقاط التماس مع المجهول ، وكل مسألة محلولة تولد مسائل جديدة .

والمؤتمرات الدولية تتراجع بصورة تدريجية محلية المكان والدور للاجتماعات المتخصصة وللمؤتمرات ذات الصوت الواحد . لقد ولى عصر ليونارد دي فنشي Léonard de Vinci وأمثاله وعصر هنري بوانكاريه Poincaré وأمثاله . ولم يعد أحد يستطيع ، بواسطة ثقافته العلمية العامة بلوغ معرفة معمقة إلا لبعض أقسام العلم . ولهذا بدا لنا من الضروري اسناد الكتابة عن تاريخ الرياضيات في القرن العشرين إلى مجموعة من المتخصصين كلفت بإبراز النياوات الكبرى في البحث وعلاقاتها ، وتناقرها وترابطها بالأعمال المجاورة .

وبالإمكان الاطلاع على ذلك بقراءة هذه المطالعات حول تطور الرياضيات الحديثة . لقد قادنا القرن التاسع عشر إلى توضيح المفاهيم الأساسية والتعاريف والبداهيات ، وإلى الفصل ، ضمن بيان إثباتي ، بين الفرضيات الأساسية اللازمة لصحة الاقتراح وبين الفرضيات الملحقمة المقدمة تسهيلاً للتبيين .

لقد سبق أن وضع العدد والنقطة في أساس البناء الرياضي ، كما أن مختلف تجمعات هذا العدد كان موضوع تحليلات عميقة . ولكن دور البديهيات قد اتسع مما أدى إلى تشريح كامل للنظريات المختلفة في شتى العلوم ، وإذا تم التثبت في البديهيات الأساسية التي هي عماد كل من هذه النظريات ، وإذا عرينا هياكلها ، توصلنا إلى الاعتراف بأن بعضاً منها وإن بدا بعيداً في الظاهر ، إلا أنه ليس إلا ظاهراً مختلفاً لنفس الهيكل ، مما يؤدي إلى استنتاجات متشابهة تطبق على عناصر متنوعة .

وقد أدت هذه البحوث إلى دراسة للبنيات قادت إلى مزيد من التجريد وإلى مزيد من الوحدة داخل الرياضيات ، وفي النهاية إلى فلسفة في الفكر .

إن الطوبولوجيا تلعب اليوم دوراً أساسياً في الجبر ، فظرية وظائف المتغيرات الحقيقية تفتح تفتحاً باهراً حيث تبدو التوسيمات الجديدة لفكرة التكامل التي كان منشؤها في ملاحظة حول تطبيقية المساحات ، عظيمة الفائدة . وفكرة وحدة تولد وظائف المتغيرات المتعددة قد انفصلت تماماً عن فكرة القابلية للتحليل ، وتفككت إلى عناصرها . أما الوظائف (الدالات) فقد جمعت ضمن عائلات مقاربة جداً ووظائف العديد من المتغيرات درست درساً وافياً . وكذلك سحبت من الأهمال السلاسل المتفارقة . أما دراسة المعادلات التفاضلية فتحاول الحصول - انطلاقاً من الخلية الأساسية - على معرفة الكائن المولد منها بأكمله . أما فكرة الوظيفة وقد ردت إلى فكرة التطابق ، فقد أتاحت استبدال المتغير العددي بالخط وبالسطح وبالعنصر المجرد كما أتاحت دراسة التوظيفات والتحليل العام ، وهو أقصى ما يصل إليه علم البديهيات .

وتسيطر فكرة الزمرة (groupe) على الجبر وعلى الهندسة وتختلف باختلاف اختيار البديهيات والعناصر الأساسية . وفكرة الزمرة هذه أدت إلى جبرنة الطوبولوجيا وإلى توسيع علم التشابه وعلم التشابه الرديف وإلى ولادة الجبر التشابهي . وفي الجيومتريا ، بعد الجيومتريات غير الاقليدية والأرخميدية والهرميتية إلخ . جاءت نظرية النسبية ، والمتنوعات الخيطية والجيومتريا المنتهية والتحليل اللامتناهي الصغر المباشر وكذلك الجيومتريا التفاضلية الشاملة .

واغتنت نظرية الاحتمالات بتحليلات أكثر عمقاً وارتدت فكرة الترابط أو العلاقة الاحتمالية أهمية وكذلك الرياضات الاحصائية . وأدى منطق الاحتمال والتطور العشوائي والسيرينية أو علم التوجيه والضبط إلى الوصول إلى طرق تحليلية جديدة .

في حين أن التجريد يسود سيادة مطلقة مجال نمو الرياضيات الحديثة ويترأس بنائها ، فإن تطبيق هذا التجريد على الواقع لا يعترضه تناقض عميق وربما لا يتوجب أن نرى في هذا الواقع إلا نتيجة للمنشأ التجريبي للرياضيات وإلا نتيجة التكون البطيء للفكر البشري عند ملاسة الواقع .

الفصل الأول

الأعداد والمجموعات

I - نظرية الأعداد

تدرس نظرية الأعداد الأعداد الصحيحة وأنظمة ترقيمها والأعداد الأولى ؛ كما تدرس الأعداد الكسرية والأعداد غير ذات الجذر الجبرية أو المتسامية ثم الروابط التي توحد بينها وبين الأعداد الجذرية ، كما تدرس أخيراً مختلف الأجسام وكذلك المثاليات .

والترقيم على الأساس 2 ، الذي لا يستعمل إلا الرقمين صفراً وواحداً يعتبر أساسياً في بناء الآلات الحاسبة الإلكترونية المتزايدة الدور . وحسنة هذا الأساس أنه لا يدخل إلا خياراً واحداً بين رقمين في حين أن الترقيم المعتاد على أساس عشرة يقتضي الاختيار بين عشر إشارات . ويجري الآلة بصورة أوتوماتيكية القلب من أساس إلى أساس وفي النظام الثنائي تكفي دفعة وحيدة لإظهار العدد المفيد .

وترتكز نظرية الأعداد على نظرية الوظائف وفي آخر القرن التاسع عشر وجدت نظرية الأعداد في الهندسة أداة جديدة في العمل أدخلها هـ . مينكوسكي H. Minkowski في كتابه « نظرية الأعداد » (1896) . ويستعمل المؤلف شبكة مؤلفة من نقاط السطح تتألف إحداثياتها (Coordonnées) الديكارتيه في أعداد صحيحة . ويلعب توزيع هذه النقاط دوراً مهماً بشكل خاص في دراسة تقريب الأعداد غير الجذرية بواسطة أعداد جذرية .

وتقدم الكسور المتتابعة ، بواسطة مختزلاتها الكسور التي تقترب أكثر من غيرها في عدد غير جذري . ويتراجع الحد الأقصى في مقياس الفرق مثل مربع عكس مخرج الكسر مضروباً بعامل ثابت Facteur تتراوح أفضل قيمة له بين $\sqrt{5}$ حتى 3 بحسب فئة العدد غير الجذري وتجدد الإشارة في هذا المجال إلى أعمال (أكسل تو) Axel Thue (سيجل) Sigel (وديزون) Dyson وفي عهد قريب اهتم (ف . ك . روث) F. K. Roth بتقريب الأعداد الجبرية وبين أن هذا التقريب قليل السرعة .

ويتوافق العدد الذهبي $(1 + \sqrt{5})/2$ مع أكثر التقريب بطلاً .

ويمكن القول أيضاً أن تقريب العدد غير الجذري بواسطة كسريتم عن طريق البحث عن المضاعف الكامل الصحيح للعدد غير الجذري المجاور لعدد صحيح وهي مسألة مفيدة في نظرية الوظائف الدورية والسلاسل التريغونومترية . وقد بدت جيومترية الأعداد خصبة في هذا المجال الذي يمكن توسيعه كما أثبت ذلك أعمال . ر . سالم R. Salem وش . بيروزه Ch. Pisot .

الاعداد الأولى : لما كانت تسلسلية الأعداد الأولى غير محدودة فقد اقترح درس ثواترها . لنفترض $\pi(x)$ عدد الأعداد الأولى التي لا تتجاوز x . إن القاعدة التي استخلصها ليبندر هي أن هذا العدد يساوي تقريباً $x / \log x$ ، أي أن خارج القسمة $\pi(x) : (x / \log x)$ ينزع نحو الوحدة عندما تزداد x إلى ما لا نهاية ، هذه العلاقة قد أثبتت في سنة 1896 بصورة مستقلة من قبل كل من ج . هدامارد J. Hadamard وش . دي لا فالي - بوسان de la Vallée - Poussin وقدم تبين آخر أقصر في سنة 1932 من قبل أ . لاندو E. Landau الذي أدخل عليه آ . إيريرا A. Errera في سنة 1955 تبسيطاً إضافياً . ومن جهة أخرى وضع أ . ملبيرغ A. Selberg وب . أردوس P. Erdős في سنة 1948 تبيناً مباشراً لم تستخدم فيه نظرية الوظائف . وقد اعتبر هذا التبين المباشر لمدة طويلة أمراً مستحيلاً .

نطلق تسمية اعداد أولى توأمة على عديدين أوليين يختلفان بوحدين مثل 3 ، 5 أو 11 ، 13 . فهل يوجد عدد غير محدود من مجموعات الأعداد الأولى التوأمة ؟ المسألة ما تزال بدون حل إنما من المعروف فقط أن نسبة عدد مجموعات التوائم الدنيا التي تقل عن x إلى العدد الاجمالي للأعداد الأولى الأقل من x ، تنزع نحو الصفر عندما يزداد x زيادة غير محدودة . وقد بين (برون) Brun في سنة 1919 أن السلسلة المتكونة في حدود هي عكس الأعداد الأولى التوأمة ، هي سلسلة متلاقية . وتطرح مسائل مماثلة في ما يخص التثلاثيات : $p, p+2, p+6$ مثل 5, 7, 11 أو الرباعيات $p, p+2, p+6, p+8$ مثل : 5, 7, 11, 13 . ونستخدم في هذه الدراسة غرايبل مشابهة لغربال إيراتومستان Eratosthène .

وتحتوي كل من السلاسل المؤلفة من اعداد صحيحة ذات الشكل : $4n+1$ أو $4n+3$ أو $6n+5$ ، إلخ ، عدداً غير محدود من الأرقام الأولى . وثبت ذلك بسهولة بفضل أسلوب التبين الذي وضعه اقليدس بشأن السلسلة n المؤلفة من الأرقام الصحيحة . وهذه المقترحات هي حالات خاصة تتعلق بقاعدة من وضع ديريكليه Dirichlet وتؤكد بأن كل تصاعدية حساية - يكون أول عدد فيها ومعدل التصاعد أو معدل التغير هما عددان صحيحان أولان فيما بينهما - تتضمن عدداً غير محدود من الأعداد الأولى . في سنة 1950 قدم هـ . ن . شاييرو Shapiro تبيناً نموذجياً لهذه القاعدة . ومن جهة أخرى بين لينيك Linnik أنه في كل تصاعدية حسائية سابقة ذات نفس معدل التصاعد وحد أول يقل عنه ، يوجد عدد أول لا يتجاوز تضعيفاً لهذا المعدل يكون ضاربه بنفسه (exposant) ثابتة مطلقة .

وانطلق ج . م . ب . ميلر Miller ود . ج . ويلر Wheeler من العدد الأكبر الأول المعروف سنة 1951 وهو $2^{127} - 1$ ، وذلك بواسطة آلة حاسبة الكترونية . وقد عثرا على أحد عشر عدداً آخر من صيغة $(2Kp+1)$ فتوصلوا إلى العدد الأول $(180p^2+1)$ المؤلف من 79 رقماً .

ومنذ ذلك الحين أمكن القول أن العدد $(1 - 2^{4423})$ هو أول : وهو أكبر عدد في الوقت الحاضر .
 وبالتصاعدية الحسابية هي دالة خالية مستقيمة مشتقة من المتغير الصحيح n . وقد جرت أيضاً
 دراسة الدالات أخرى لـ n يمكن أن تعطي عدداً غير محدود من الأرقام الأولى وهكذا أدخلت الأرقام
 الأولى من الصيغة التي وصفها مرسين Mersenne ، $(2n - 1)$ ، أو من صيغة فرمات $(2^{2n} + 1)$ ،
 وكذلك الأرقام المشتقة من مثلث الحدود من الدرجة الثانية ، أو مشتقة من شكل تربيعي ذي
 متغيرين صحيحين . وفي هذه الحالة الأخيرة تم الحصول على صيغة تشبه قاعدة ديريكليه : أي
 شكل تربيعي له ضاربات صحيحة أولى فيما بينها يتضمن عدداً غير محدود من الأرقام الأولى . وقد
 أتاحت هذه المسائل المجال لأعمال د . هـ . لهر Lehmer (1935) ولأعمال آ . فيريه Ferrier
 (1951) ولأعمال ف . سيرينسكي Sierpinski (1951) ولأعمال م . رايت Wright (1951) .

وتم الحصول على قيم تماسية بالنسبة إلى السلاسل أو الحواصل غير المنتهية المرتبطة
 بالأرقام الأولى ، مثلاً سلسلة معاكساتها ، وسلسلة حواصل قسمة اللوغاريثم على العدد . وتعزى
 هذه الأعمال بشكل خاص إلى ب . روسير B. Rosser (1941) وهاردي Hardy وي . هـ . رايت
 Wright (1945) . وتم البحث عن تعابير من نمط (x) بصورة أكثر طوعاً في الحساب . وإحدى
 هذه السلاسل يعود الفضل فيها إلى ف . سيرينسكي (1953) ؛ وهناك أعمال أخرى يعود الفضل فيها
 إلى آ . بروير A. Brauer (1946) :

■ ان المسافة التي تفصل بين عددين أوليين متتاليين كانت موضوع بحوث مثمرة . فهناك عدد
 أول بين x و $9/8 x$ عندما يكون $(x \geq 48)$ (ر . بروش R. Breusch 1931) ؛ وبين x^2 و $(x+1)^3$ عندما
 يكون x كبيراً إلى حد ما (أ . انغهام A. E. Ingham 1932) . ولا تعرف إذا كان الأمر كذلك بالنسبة
 إلى x^2 و $(x+1)^2$. والمسافة المعتبرة تتغير بين 2 وعدد كبير قدر ما نشاء وتتأرجح باستمرار بين
 هذين العددين ، فالحذ الأدنى ربما لا يدرك دائماً . وليس طول هذه المسافة دالة تربية (1934 ،
 إيشيكافا H. Ishikawa ، وبراشاز Prachaz ، وتوران Turan ، واردوس Erdős) و (1951 ، ريتشي
 G. Ricci) .

وتم إدخال مفهوم العدد شبه الأول : أنه عدد مركب فيه يكون لمجموع المتقلبات
 (Exposants) فوق الأعداد الأولى التي تؤلفه حد أعلى محدود . فإذا كان هذا الحد (1) فالعدد
 يكون أول . وهكذا نحصل ، باستعمال غربال ، على القواعد التالية :

1 - يوجد عدد لا متناه من المزدوجات المتكونة من عدد أول ومن عدد شبه أول الفرق بينهما هو
 (2) .

2 - كل عدد مزدوج كبير نوعاً ما هو مجموع عدد أول وعدد شبه أول (Rengi) .
 في سنة 1742 ، وفي رسالة إلى أولر ، أعلن غولدمباخ Goldbach الحكم بأن كل عدد مزدوج
 هو مجموع عددين أوليين . وهذا الحكم يعادل الحكم التالي : كل عدد أول يفوق الـ (5) هو
 مجموع ثلاثة أعداد أولى . إن القاعدة المستقاة من غولدمباخ لم يكن بالإمكان إقرارها . وفي سنة
 1922 ، بين هاردي وليتلوود Littlewood ، بافتراضيهما فرضية غير مقررة ، إن كل عدد مفرد كبير

نوعاً ما هو مجموع ثلاثة أعداد أولى . وفي سنة 1937 بين فينوغرادوف تماماً هذا الحكم وتبعه لينيك وتشوداكوف . وهناك أعمال أخرى في هذا السبيل تعود إلى بينغ Pipping وإلى أسترمان Estermann وفان كوربوت Van der Corput . وقد أمكن تبين أن كل عدد صحيح يحصل بفعل جمع أعداد أولى عددها محدود . وباستعمال قاعدة فينوغرادوف ، تقرر أن الحد يمكن أن يؤخذ مساوياً لأربعة عندما يكون العدد الصحيح كبيراً نوعاً ما (شنيرلمان Schnirelman ، 1930 ؛ ريتشي Ricci 1936 ، ريشرت Richert ، 1941 ؛ شابيرو Shapiro وفارغا Varga ، 1951) .

المعادلات الديوفانتية - من أجل التوصل إلى أعداد صحيحة كحل معادلة ذات متغيرين حاصلة من جراء تصفير (جعله صفراً) متعدد حدود ذي معاملات جذرية ، بين ثيو A. Thue أنه ، إذا كان متعدد الحدود متسقاً ، ومعه زيادة حد ثابت جذري ، فإن المعادلة تقبل عدداً متناهياً من الحلول إلا في حالة يكون فيها هذا المتعدد الحدود « قوة » (Puissance) لمثلث حدود من الدرجة الثانية يمكن رده إلى مزدوج حدود من الدرجة الأولى .

وبالارتكاز إلى بحوث ويل A. Weil حول الحساب (الارتميك) المتعلق بالمنحنيات الجبرية ، توصل سيجل C.L. Siegel إلى حل مسألة تحديد الحالات التي تقبل فيها المعادلة الجبرية ذات المتغيرين ، عدداً غير محدود من الحلول الصحيحة . وقد درست حالة المعادلة ذات المتغيرات فوق الاثنين من قبل سكولم Skolem وشابوتي Chabauty .

في سنة 1910 استطاع هيلبرت Hilbert أن يحل المسألة التي طرحها وورنغ Waring منذ 150 سنة من قبل : بالنسبة إلى كل عدد صحيح $k \geq 2$ يوجد عدد $S(k)$ بحيث أن كل عدد صحيح يبدو كمجموع على الأكثر $S(k)$ قوة ذات الدرجة k لأعداد صحيحة . وقد استطاع هاردي وليلتود أن يحسنا كثيراً النتيجة التي توصل إليها هيلبرت بواسطة طريقة أصيلة جداً في (النظرية التحليلية للأعداد) . وهذه النظرية تركز على دراسة معمقة لفرائد سلسلة معينة وضعها نايكس حول حلقة التلاقي . هذه الطريقة ، التي طورها خاصة فينوغرادوف ، هي التي أتاحت الحصول على النتائج المشار إليها أعلاه حول مسألة غولدباخ ، وعلى تخمين تقريبي لعدد تجزئات العدد الصحيح .

الأعداد الجبرية أو التجاوزية - إن دراسة الأعداد الجبرية - التي أحدها عدد حقيقي فوق الواحد ، شريكاته مزودة بمقاييس تقل عن واحد ، والتي قام بها ش . بيزو Ch. Pisot وتابعتها سالم R. Salem وسيجل G. Siegel وآخرون - أدت إلى معايير للأعداد الجبرية تعمم قاعدة لاغرانج المتعلقة بالأعداد الجبرية من الدرجة الثانية .

وقد طور بيزو Ch. Pisot وشابوتي C. Chabauty أسلوب التقريب التناوبي لعددتين حقيقيين . في سنة 1934 ، قدم غلفوند A. O. Gelfond طريقة سهلة لبناء الأعداد التجاوزية مبنياً اقتراحاً مهماً تعود صياغته إلى أولر Euler ويشكل المسألة السابعة من المسائل التي طرحها هيلبرت سنة 1900 ؛ باعتبار α عدداً جبرياً مختلفاً عن 0 وعن 1 وأن β هي عدد جبري غير جذري ، فإن β^α متسام (مثلاً : $3\sqrt{2}$) .

وقدم بيروه Pisot سنة 1938 معياراً للعدد التجاوزي : السلسلة التريغونومترية التي حدها العام هو $\sin^2(\pi x^n)$ (sin تومز إلى الجيب) ، باعتبار أن x يرمز إلى عدد متمم ، وتفترق ، بالنسبة لكل قيمة حقيقية x أكبر من 1 .

II - المجموعات

لم تتوقف الحركة التي نشأت في أواخر القرن التاسع عشر بفضل نظريات كانتور Cantor عن التطور بخلال القرن العشرين في مختلف المجالات الرياضية . إن فكرة الجوهر الفرد القديمة ، التي دمرها ادخال اللاجملريات ، قد أخلت المكان أمام المستمر المتتابع . ويدوره أخذ هذا المستمر مكانه بين المجموعات التي أتاحت فكرة القوة Puissance تصنيفها .

إن العدد الرئيسي الذي نشأ من تعداد المجموعات المنتهية ، قد وُسّع ليشمل المجموعات غير المنتهية وأدى إلى التعداد المتجاوز النهاية Transfinie وإلى الحث الاستقراء المتجاوز النهاية .

أما العدد الترتيبي ، من ذات المنشأ ، فقد أدى إلى مفاهيم المجموعة المرتبة والمجموعة لمرتبة جداً وإلى بديهية زيرميلو Zermelo (1904) التي بموجبها يمكن - في كل مجموعة فرعية من مجموعة معينة - تحديد عنصر مميز . هذه البديهية واستعمال أرقام فوق النهائي أدبا إلى نتائج غريبة أحياناً وإلى متناقضات فرقت الرياضيين إلى فريقين أحدهما يقبل ببديهية زيرميلو في حين يرفضها الآخر بسبب الشك الذي يتضمنه تعيين العنصر المميز الموافق لكل مجموعة ، وقد أتاحت ببديهية زيرميلو العديد من المجالات . فقد هاجمها بوانكاريه ، ورفضها بوريل Borel وليبيغ Lebesgue ولوزين Lusin وآخرون ، وقبلت من جانب هيلبرت ، وهادامارد وسيرينسكي Sierpinski وآخرين . في مطلع القرن العشرين كان العلماء الرياضيون مقسومين إلى مجموعتين : المثاليون الذين ارتضوا ببديهية زيرميلو ، والتجريبيون الذين رفضوها . ونقرأ باهتمام « الرسائل الخمس حول نظرية المجموعات (Ensembles) » والتي تبادلها كل من بير Baire وبوريل Borel وهادامارد Hadamard وليبيغ Lebesgue .

لقد قام علمان يتطوران كلاً على حدة . وقد نتج عن ذلك تحليل أخاذ للأسس المنطقية للتعريف وللتحليل العقلي (E. Borel, Les paradoxes de l'infini, Paris 1946) . وتمت متابعة البحوث الأولى التي قام بها زيرميلو من قبل كثيرين منهم فرانكل Frankel وبرنايز Bernays وفون نيومان Von Neumann وأخيراً كورت غودل (The Consistency of the Continuum hypothesis) (Princeton, 1940) . وقد وضعوا لنظرية المجموعات ببدييات ما تزال معتمدة حتى أيامنا . فضلاً عن ذلك ، وكما أنه تم في القرن التاسع عشر اثبات أن الجيومتريا اللاقليدية غير متناقضة إذا كانت الجيومتريا الاقليدية غير متناقضة بذاتها ، فقد أثبت غودل Gödel أنه إذا كانت نظرية المجموعات المرتكزة على نظامها من البدييات (حيث لا مكان لبديهية الاختيار) ، ليست متناقضة ، فإن النظرية الحاصلة بإضافة ببديهية الاختيار وفرضية المستمر إلى هذه البدييات لا تكون متناقضة هي أيضاً . هذا لا يثبت بالطبع فرضية المستمر ، وقد تكون هذه غير قابلة للاثبات ، أي أنه إذا أضيف إلى نظام البدييات عند غودل انكار فرضية المستمر ، نصل أيضاً إلى نظرية غير متناقضة (دائماً

تحت الفرضية القائلة بأن النظرية تحت هذه البديهية ، ليست متناقضة بذاتها) .
وقد أغنت الأعمال الحديثة ، الموجة نحو تجريد متزايد ، نظرية المجموعات بإدخال الطوبولوجيا ، وجبر بول Boole وتحليل مور Moore العام (أنظر بهذا الشأن الفصل التالي) .

قياس المجموعات - إن قياس مجموعات النقاط في فضاءات ذات بُعد أو أبعاد عدة قد مرّ بثلاث مراحل متتالية . في بادئ الأمر ، وفي أواخر القرن التاسع عشر ، أدخل C. Jordan أول نمط للقياس مستقل عن هيكلية المجموعة التي يجب قياسها . ونتج عن ذلك ، بشكل خاص ، عدم إمكانية قياس مجموعة النقاط ذات الإحداثية السينية الجذرية من المقطع (0,1) ، ولا مجمل النقاط ذات الإحداثية السينية غير الجذرية من هذا المقطع .

هذا النقص بالنسبة إلى مجموعات يمثل هذا الاستعمال جرّ أميل بورل (1871 - 1956) إلى إدخال تعريف آخر للقياس يحمل اسم بورل . وهو يتميز بالخصائص التالية : إن قياس المقطع (Segment) (1,0) يساوي واحداً ؛ وقياس عدد نهائي أو غير نهائي من المسافات دون نقاط مشتركة هو مجموع أطوالها ؛ وقياس مجموعة يمكن تحصيل بنائها عن طريق الغاء المسافات ، هو أمر حاصل أيضاً ؛ وقياس اجتماع عدد نهائي أو قابل للعد من المجموعات القابلة للقياس ، والتي ليس لها نقاط مشتركة هو مجموع قياساتها (E. Borel, Leçons sur la théorie des fonctions, Paris 1895) .

وقدّم ليبغ Henri Lebesgue (1875 - 1941) تعريفاً للقياس سُمّي تعريف L ، وله نفس الخصائص الأساسية ، إلا أنه مستقل عن أسلوب بناء المجموعات ، وله فائدة كبرى نظرية ومنطقية . ومن الناحية العلمية ، للقياسين B و L نفس الصلاحية .

وننتقل بسهولة من تعاريف قياس مجموعات النقاط فوق المقطع (0,1) إلى قياس مجموعات النقاط الواقعة في فضاء ذي عدد من الأبعاد وحتى إلى قياس مجموعات النقاط في فضاء طوبولوجي أو إلى قياس مجموعة مجردة . أن القياس L المشار إليه أعلاه يتميز بأنه لا يتغير بالانتقال . إلا أنه - وكما سبق وبين ذلك ستيلتجس Stieltjes (1894) ، يمكن أن نعرف على المستقيم قياسات أخرى كثيرة لا تتمتع بهذه الخصوصية ، إلا أنها كثيرة الفائدة في العديد من المسائل ، وتتيح تعريف مفهوم للتكامل بأسلوب منقول عن الأسلوب الذي استعمله ليبغ لتعريف التكامل انطلاقاً من القياس L (راجع الفصل الثالث من هذا القسم) .

مجموعات القياس L المعدومة - إن هذه المجموعات هي أولاً المجموعات القابلة للعد . ويميز بورل من بينها المجموعات القابلة فعلاً للعد : إنها هي المجموعات التي يمكن إجراء تصنيف لتناصروها التي تجعلها تتوافق من طرف واحد مع مجموعة الأعداد الصحيحة الطبيعية .

وتأتي بعدها المجموعات ذات القياس المعدوم وذات القوة ، قوة المستمر . نكتفي فقط بمجموعات النقاط الواقعة على المقطع (1,0) وذات القياس العدم . إن مجموعة هذه المجموعات لها قوة أعلى من قوة المستمر .

وإن نحن اكتفينا بالمجموعات المسماة مجموعات B ، فإن مجموعتها لها قوة المستمر . إنّ مثل هذه المجموعة تُعرف بأنها متكونة من النقاط الداخلية في عدد لا متناه من المسافات . ومجموع أطوالها يتيح تصنيفها . وهكذا نصل إلى مفهوم الندرة الذي أدخله ودرس أميل بورل (1949) .

إن مجموعات القياس العدم مرتبطة بالتعبير « تقريباً في كل مكان » المستعمل في نظرية الدالات . ويقال أن الميزة تتأكد في كل مكان تقريباً عندما تكون مجموعة النقاط المحددة بقيم المتغيرات والتي لم تثبت الخاصة بالنسبة لها ذات قياس عدم .

المجموعات التحليلية - نحن مدينون لنيكولا لوزين N. Lusin (1883 - 1950) ولتلميذه سوسلن Michel Souslin (1894 - 1918) بنظرية المجموعات التحليلية (1916) التي هي نقطة انطلاق الأعمال الحديثة حول نظرية المجموعات . وهذه النظرية ترتبط بمذكرة هـ . ليبينغ حول الوظائف القابلة للتمثيل تحليلياً (1905) . إنّ المجموعة التحليلية ذات بعد الواحد ، هي مجموعة القيم التي تتخذها دالة مستمرة لمتغير تقع قيمته بين الصفر (0) وواحد . إن مثل هذه الدالة يمكن تمثيلها بسلسلة من متعدّدات الحدود (Polynômes) . وتحدد هذه السلاسل كل مجموعات الدالات التحليلية التي لمجموعتها قوة المستمر .

وأدخل لوزين (Lusin) أيضاً طريقة الغرايل المستعملة من قبل ليبينغ في حالة خاصة . نفترض وجود مجموعة مسطحة E مسندة إلى محورين Ox, Oy . ان مجموعة السينيات x - للمتوازيات مع Oy ، والتي يشكل مقطع E بالنسبة إليها مجموعة غير منتظمة تماماً ، تشكّل المجموعة المغرلة بالغرايل E .

إن الأعمال المتعلقة بالمجموعات التحليلية هي بشكل خاص من صنع الرياضيين من المدرستين البولونية والروسية وخاصة سيرنسكي Sierpinski وكوراتوسكي Kuratowski ونيكوديم Nykodym ومساوور كيغيتيز Mazurkiewicz والكسندروف Alexandrov ولافرنتييف Lavrentiev وأوريسوهرن Urysohn وكولموغوروف Kolmogorov وهوريفيتش Hurewicz وكثيرين غيرهم .

وتتصل هذه الأعمال بطبقات الوظائف عند بير René Baire وبحوث بوسان Ch. de la Val - lée - Poussin . وقد أدّت إلى دراسة المجموعات الاسقاطية والمجموعات الكونية التي قال بها لوزين N. Lusin ، والمجموعات المتناثرة التي قال بها دنجوي A. Denjoy تساهم فيها أيضاً .

كتب أميل بورل يقول : « إن المجالات والمجموعات تشكل بالنسبة إلى الوظائف (الدالات) ما مثله الأنسجة بالنسبة إلى الكائنات الحية . وقد اضطررنا إلى درسها بذاتها ، بمعزل عن الوظائف التي أوحى بدراستها » .

وقد خصصت مجموعة مهمة - Fundamenta Mathematicae ، وُضعت في يولونيا من قبل سيرنسكي W. Sierpinski - لهذه البحوث .

الفصل الثاني

الجبر والطوبولوجيا

يعيش العالم الرياضي الحديث في وسط علمي دائم التغير . وهناك تطور انطلق منذ قرن ، ولم ينفك يتسارع منذ خمسين سنة ، فيخضع المجالات الرياضية لخلط ومزج يتزايد اتساعه سنة فسنة ، وقد أزال العديد من الحدود التقليدية ، إلى درجة أنه أصبح من الصعب جداً إعطاء اسم للكتلة المتحركة من النظريات المتفاعلة فيما بينها باستمرار ، هذه الكتلة التي تشكل ما يمكن تسميته « النار المركزية » في الرياضيات المعاصرة وهي : الطوبولوجيا الجبرية ، والجيومتريا التفاضلية ، ونظرية الوظائف (الدالات) التحليلية لعدة متغيرات معقدة ، وزمري Lie والجيومتريا الجبرية ، وكلها تختلط فيها بشكل لا يمكن فصله ، وليس بمعزل عن تقديرات التحليل الوظيفي ، ودون الكلام عن المبادلات مع نظرية الأعداد الجبرية . وهذا الحفل ذو المئة صورة يقوده المجالان العلميان المفتاحان في الرياضيات الحديثة وهما : الجبر والطوبولوجيا [الطوبولوجيا فرع من الرياضيات مؤسس على دراسة التحويلات المستمرة في الجيومتريا وعلى العلاقات بين نظرية السطوح والتحليل الرياضي] .

واصل هذا التطور يبحث عنه في تغير وجهة النظر التي حصلت بخلال النصف الثاني من القرن 19 : فبدلاً من المفهوم الأفلاطوني للرياضيات « أمثلة العالم الحسي » حلت حالة استقلال تام تجاه « المحدد » ، تطلب إمكانية تنمية مفاهيم تجريدية خالصة ، محكومة بأنظمة من المسلمات شبه التحكمية تقريباً ، ودونما تطابق ضروري مع الواقع التجريبي . وفجأة تبين أن الوسائل التي بدت مرتبطة ببعض أنماط الأشياء المنبثقة عن حدسنا الحسي (الأعداد ، الرسوم الجيومترية ، الخ) لها حقل تطبيق « تجريدي » أكثر اتساعاً ، وهي تتجاوز بدون جهد الحواجز التي يفرضها الاستعمال التقليدي لها [للوسائل] على الإنتفاع منها . أن كل قفزة من هذه القفزات إلى الأمام تقتزن ، لا محالة ، بصعود جديد في التجريد ، وبإدخال مفاهيم رياضية جديدة ، معها تتعاطى بدون مشقة الأجيال الجديدة في حين يلوث السابقون من أجل متابعتها ، وأنه لمن سخریات القدر ، بالنسبة إلى هذا التاريخ ، أن نرى بطل التجريد ، ومدمر المفاهيم البالية ، عند بلوغه الخمسين ، يتهيب من إقدام زملائه الشبان ويصرح بلهجة قاطعة أن المفاهيم الرياضية

الجديدة لا يمكنها أن تؤدي إلى أي شيء جديد .

أنه لمن المبكر جداً أن نحاول استخلاص رؤية إجمالية من هذا الغليان العمائي . وليس بمقدورنا أفضل من أن نتبع بعضاً من هذه الاتجاهات التي تتصادم في مختلط الرياضيات الحديثة ، ثم نركز على بعض من هذه الأفكار - القوى .

اتجاهات الجبر الجديد - قلماً يشترك الجبر الحديث ، إلا باسم ، مع ما ظل لقرون يشكل الجبر بحق : أي نظرية المعادلات . فهو أي الجبر الحديث قد انبثق ، ليس فقط من هذا الجبر الكلاسيكي ، ومن احتياجات نظرية الأعداد ، بل انبثق أيضاً من مختلف « الحسابات » ومن التحليل ومن الجيومتريا ، التي شكلت أسسها - المتجردة من الأفكار الملازمة لهذه العلوم - ما يسمى اليوم « البنيات الجبرية » ؛ ودراستها هي أساس الجبر الحديث . من حيث المبدأ ، يمكن تعريف مثل هذه البنية بنظام من المسلمات الخاصة لعدد قليل جداً من الحدود . ولكن تاريخ السنوات الثلاثين الأخيرة ، التي ظهرت فيها أنظمة متعددة من هذا النوع يدل ، ظاهراً ، أن الأنظمة الوحيدة القابلة للتطور الخصب هي الأنظمة التي تظهر ، إذا جاز القول ، « بناء للطلب » ، وذلك سداً لاحتياجات يحددها قسم آخر من الرياضيات . والجبر - دون غيره من فروع الرياضيات الأخرى - لا يسمح له بأن يكون مجانياً خشية عليه من العقم .

أ - وإن نحن استعرضنا بسرعة هذه « البنيات » المتنوعة للجبر ، فيجب إعطاء مركز الشرف لفكرة « الزمرة » ، وهي بدون شك الفكرة الأشمل في الرياضيات المعاصرة . لقد انبثقت فكرة « الزمرة » من نظرية المعادلات (لاغرانج ، غوس وغالوا) . وفكرة الزمرة « المتناهية » (وخاصة فكرة مجموعة المتبادلات) كانت الموضوع الرئيسي لنظرية الزمر في القرن التاسع عشر ، خاصة مع جوردان Jordan وسيلو Sylow ، وبالتدرج فقط تبين الدور العظيم الذي تلعبه الزمر في كل النظريات الرياضية ؛ وكما سنرى ، أنه بفضل التواصل مع هذه التطبيقات الجديدة نشأت التطورات الأكثر تقدماً في النظرية العامة للزمر ، وحتى في نظرية النهائية .

ب - ومفاهيم الحقل (Corps) والحلقة (Anneau) جاءت أيضاً من الجبر الكلاسيكي ، ومن الجيومتريا الجبرية ومن نظرية الأعداد (هيلبرت Hilbert وكرونكر Kronecker وديديند Dedekind) ؛ ولكن إلى جانب الحقول « المحددة » في الأعداد أو في الوظائف ظهرت أيضاً ، في هذه المجالات ، حقول أخرى ذات سمات أكثر غرابة ، أمثال الحقول المتناهية (وبوجه أعم الحقول ذات السمة « $p > 0$ ») والحقول الباديكية (P -adiques) (أنظر لاحقاً) في حين أنه من الأعمال حول أسس الجيومتريا تولدت الحقول ذات السلاسل الشككية (Veronese) . وكل هذه الحالات الخاصة قد شملها توليف Synthèse شتاينيتز Steinitz (1910) ، هذا التوليف الذي يعتبر بداية الجبر الحديث . وبفضل نوثر E. Noether وكروول W. Krull ، تطورت النظرية العامة المتعلقة بالحلقات التبادلية ، بعد ذلك بقليل ، متجهة منذ البداية (وأكثر فأكثر) نحو الجيومتريا الجبرية ، لكي تميل إلى الاندماج فيها .

ج - وارتبطت فكرة الفضاء الحلقي (Module) بفكرة الحلقة ، وكان لهما نفس المنشأ (ومقولاتها المثالية هي حالات خصوصية) . إلا أن نظريتهما قد تمحورت لمدة طويلة حول حالة خاصة من حالات الفضاءات التوجيهية (ويقول آخر حول الفضاءات فوق حقل) التي تأتي ، بخط مستقيم ، من الجيومتريا الأولية وتنتهي فضلاً عن ذلك في التحليل الوظيفي .

وفي وقت قريب جداً فقط ، وبواسطة الجبر التماثلي (Homologique) اكتسبت نظرية المكونات الجزئية حول الحلقات الأكثر عمومية نمواً مماثلاً . ولكن سبق ، مع الفضاءات الموجهة (Vectoriel) وحدها ، أن توصل « الجبر الخطي » وملحقاته (الجبر الموترى Tensoriel ، والجبر الخارجي) إلى لعب دور متعظم في كل الرياضيات الحديثة التي تبرز فيها الصفة الخطية .

إن نظرية الحقول ونظرية Galois بشكل خاص ، قد استفادت من هذه الخطية . ومن نجاحاتها الأخرى في الجبر كانت نظرية الجبريات غير التبديلية non Commutatatives والتي تعود إلى أعداد هاميلتون فوق العقدية ، ولكنها لم تدرس بشكل عام إلا ابتداءً من نهاية القرن التاسع عشر . وخاصة بتطبيق نتائج هذه الدراسة على جبر زمرة متناهية فوق حقل ما K ، نتوصل (في الحالة التي يكون فيها K هو حقل الأعداد المعقدة) إلى القواعد الأساسية حول التمثيلات الخطية وحول « سمات » هذه الزمر . أن هذه السمات أدخلها سنة 1886 فبر Weber في الزمر التبديلية (Commutatifs) ، ولكن تعريفها ، بالنسبة إلى الزمر المتناهية المطلقة لم يقدم إلا في سنة 1896 من قبل فروبنوس Frobenius ، وتقدم هذه النظرية أداة جديدة وقوية لدراسة الزمر المتناهية ؛ وفي عهد قريب ، وعند دراسة التمثيلات في جسم ذي سمة مميزة $p > 0$ استطاع براور R. Brauer وتلاميذه تمديد هذه البحوث بشكل ملحوظ (من أجل تعميم هذه المعلومات على المجموعات الطوبولوجية) .

وفي الجبر الخطي أيضاً (مع ثنائية الجيومتريا الإسقاطية ، في بداية القرن 19) تولدت الفكرة العظيمة فكرة الثنائية (dualité) أو الازدواجية التي سوف نعالجها فيما بعد بأشكال متنوعة جداً .

جبرنة الطوبولوجيا - في أي مكان آخر غير الطوبولوجيا لم تكن فتوحات الجبر ، وخاصة نظرية المجموعات ، أكثر مشهودة . لن نتكلم هنا عن الطوبولوجيا الموصوفة « بالعمومية » ، والتي تطورت على أثر أعمال فريشيه Fréchet وهوسدورف Hausdorff ، في الحقبة 1920 - 1940 ، والتي كان دورها أن تضع مصطلحاً « جيومترياً » مبسطاً ومرناً ما أمكن من أجل التعبير عن نتائج وعن مشاكل التحليل الوظيفي ، والجيومتريا التفاضلية ، والقسم من الطوبولوجيا المسمى « توافيقاً » في بداية القرن . في هذه الطوبولوجيا الأخيرة ، عملت تقنية التثليث و « المعقدات » (Complexes) التي ابتدعها بوانكاريه (1895) لتقويم النظرية التي استشفها ريمان Riemann ، على إشراك الفضاء X بثوابت طوبولوجية (« أعداد بيتي » ، « أعداد الفتل de torsion » ، و « أعداد التقاطع ») كانت دائمة أعداداً صحيحة ، ولم يتدخل الجبر إلا من خلال تصور « مصفوفات الانعكاس » ومن خلال فكرة « الزمرة الأساسية » $\pi_1(X)$ في طبقات الأربطة . وأنه في سنة 1925 فقط ، وبثأثير من نونر

Noether ، عرف أن هناك مكسباً من اعتبار « سلاسل » المعقد وكأنها تشكل زمرة تبديلية ، واعتبار عملية « الطرف » ∂_n كتشاكل (homomorphisme) $(f(x+y) = f(x) + f(y))$ من زمرة n من السلاسل في زمرة $(n-1)$ من السلاسل . وأعطت الزمرة حاصل النواة ∂_n على صورة $(\partial_n + 1)$ تعطي بفضل ثوابتها المعتادة ، « أعداد بيتي (Betti) » و « أعداد البرم » ومن هنا اسمها « الزمرة (n^e) التقرانية » ؛ أما « أعداد التقاطع » فيمكن أن تستعمل لتحديد الضرب بين طبقات التماثل (حول نوعية X) . فضلاً عن ذلك ، بدلاً من دمج المجموعات المبسطة (Simplexes) في مجاميع ذات معاملات صحيحة ، لا شيء يمنع من إدخال المعاملات ضمن دائرة ما ، من هنا تصور زمر التماثل ذات المعاملات الحرة الكيفية ؛ وهذا أتاح التعبير بشكل كامل عن قاعدة « الثنوية dualité » (الكسندر - بونترياغين Alexander - Pontriaguine) بين تماثل قضاء جزئي وبين تتمته ، وقاد فيما بين 1930 و 1940 إلى تعريف مجموعات التماثل المزدوج cohomologie ، رابطاً بين السابقة والثنوية الاستعمالية للجبر الخطي (الكسندر Alexander وليفشيتز Lefschetz) . فضلاً عن ذلك ، يمكن دائماً تحديد تعددية طبقات التماثل المزدوج (دون تضيق على الفضاء X) ؛ فضلاً عن ذلك أيضاً ، يوجد في هذه الحلقة من التماثل المزدوج عمليات جبرية أخرى (مقلات ستينرود Steenrod ، وعمليات تماثلية ثانوية) تشكل بنية جبرية في غاية التعقيد ما تزال بعيدة كل البعد عن الحل الكامل . ومن جهة أخرى أخيراً ، أدخل هوريفيتش Hurewicz حوالي سنة 1933 زمر التماثل العليا $\pi_n(X)$ ، وهو تعميم طبيعي للزمرة الأساسية ، وهنا أيضاً يوجد بين هذه الزمر العديد من العلاقات ذات الطبيعة الجبرية الطوبولوجية ، التي ما تزال غير مفهومة تماماً .

وهنا تقع إحدى « الصدمات الارتجاجية » الأكثر بروزاً في تاريخ الرياضيات . في سنة 1942 ، اكتشف هوف Hopf علاقة غير متوقعة بين الزمرة الأساسية $\pi_1(X)$ والزمرة الثانية من التماثل $H_2(X)$. وبعد ذلك بستين ، وأثناء تعميق هذه العلاقة اكتشف هوف Hopf نفسه وإكمان Eckmann وماكلين Mac Lane - ايلنبرغ Eilenberg كل على حدة إمكانية تطوير - بالنسبة إلى زمرة مجردة عاملة ضمن مجموعة تبديلية - نظرية في « التماثل المزدوج » تشبه شكلاً ومن جميع النواحي نظرية تماثل المجموعات المعقدة (Complexes) . وبعد ذلك بقليل ، لاحظ هونشيلد Hochschild أن نفس الفكرة تنطبق أيضاً على الجبريات التجميعية ، وقام ايلنبرغ Eilenberg وشوفالي Chevalley بتوسيعها حتى تشمل جبريات لي Lie . وقد تم التوصل فعلاً إلى بدايات « الجبر التماثلي » ، وهو آخر مولود من أقسام الجبر ، التي لم تتوقف مسيرتها الطافرة بين كل الرياضيات ؛ وبعد صياغته بشكل منهجي بفضل المساهمات الأساسية التي قام بها كارتان H. Cartan و ايلنبرغ Eilenberg ، أصبح يشمل الآن ، وبشكل متماسك ، سلسلة كاملة من الأساليب الجبرية التي تتيح معالجة المسائل التي تدخل فيها علاقات « التبعية » الخطية بين عناصر الفضاء الحلقي (module) ، والتي ينبثق معظمها عن الطوبولوجيا الجبرية : مفاهيم الحل (Hopf) ، تتمتع صحيحة من التماثل المزدوج (كارتان H. Cartan ، هوف Hopf ، لفشيتز Lefschetz ، هوريفيتش Hurewicz) ثم أهم وأقوى نظرية بين كل النظريات ولا شك وهي نظرية التتمات الطيفية التي وضعها Leray (انظر لاحقاً) . أن هذه الأفكار قد أتاح إدخال العديد من النتائج المنفردة الجبرية ضمن إطار عام (من ذلك مثلاً « قاعدة الهلة والبدر » التي وضعها هيلبرت Hilbert في

نظرية الثوابت) ، وسوف نتاح لنا الفرصة في ما يلي لكي نشير إلى بعض مسائل الجبر والحساب ، التي قدّم لها الحل ، ولكن أولى أهم تطبيقات الجبر التماثلي كانت في مجال الطوبولوجيا الجبرية التي ولدت هذا الجبر . ومن بين النجاحات المتعددة التي تعزى إلى هذا الجبر التماثلي ، نذكر قواعد التناهي التي قال بها سير Serre حول زمر الهوموتوبية (Homotopie) بين الكرات ، ونذكر نتائج آدمز Adams الحديثة التي حلت المسائل القديمة حول وجود حقول الأسهم الموجهة Vecteurs فوق الكرات ، وتحديد الكرات الذي يقتضي تكاثراً مستمراً كما هو الحال في التطبيقات $(y \rightarrow x \text{ و } y \rightarrow yx)$ بحيث تكون هذه التطبيقات هوموتوبية عند التماهي بالنسبة إلى كل x .

ومن الجدير بالذكر أنه كلما غصنا في الطوبولوجيا الجبرية الحديثة ، كلما ابتعدنا عن الحدس الجيومتري الأول لدى مؤسسه . وقد أمكن القول أن بحثاً حديثاً حول الطوبولوجيا الجبرية يتضمن 95% جبراً و 5% طوبولوجياً وحتى الفكرة التي كانت تبدو مرتبطة بشكل لا يقبل الانقسام بفكرة الاستمرارية مثل فكرة « التحريف » (أو « الهوموتوبيا ») أمكن حديثاً صوغها بعبارة جبرية خالصة (كان Kan) ، إلا أن كل تقدم في هذه الجبرنة يؤدي حتماً تقريباً إلى تقدم في فهمنا للنظرية ويقوي وسائل الهجوم المتاحة .

ويجدر أخيراً أن نشير إلى أن الجبر التماثلي سائر في طريق تجاوز ذاته بذاته ، أن تكوينه ، عند كارتان - إيلينبرغ ، يتعلق أساساً بالعلاقات بين الفضاءات الحلقية modules وتشاكلات Homomorphisme هذه الفضاءات . ولكن استبان أننا في الواقع لم نكن نستخدم من هذه المفاهيم إلا عدداً صغيراً من خصائصها الشكلية (مثلاً الواقعة بأن التشاكل له صورة وله نواة) وأن هذه الصفات بالذات تتواجد في ظروف لا تكون فيها الأشياء المقصودة بالضرورة فضاءات حلقية ، ومن هنا التصور الجديد الذي يقوم - بحسب تفاعلية لا تتغير - على اتخاذ هذه الخصائص كمسلمات . هنا نجد النظرية الحديثة جداً حول « الطوائف الأبيلية » (Catégories abéliennes) والدالّ Foncteur بين هذه الطوائف : صعود جديد في التجريد ، قدم ، كما هي العادة ، رؤى أكثر بساطة ، ومناهج عمومية ، ليس فقط في الجبر التماثلي « الكلاسيكي » ، بل - وهذا هو الأكثر أهمية - في نظرية الأشعة وتطبيقاتها .

طوبولوجيا جبرية - جيومتريا تفاضلية وجيومتريا جبرية - ظهرت أولى مسائل الطوبولوجيا أمام ريمان Riemann ، بمناسبة حقبات « المتكاملات الأبيلية » ، ومن أجل دراسة التنوعات التحليلية طور بوانكاريه تقنياته الدمجية ، ناظراً بشكل خاص إلى تناول المتكاملات بواسطة الأشكال التفاضلية ، وأظهرت نظرية هذه الأشكال ، بالنسبة إلى التنوعات الجبرية من البعد 2 (بيكار والجيومتريون الطليان) أو سن أي بعد آخر (Lefschetz) ، العديد من الثوابت (النوع الجيومتري ، والنوع الحسابي ، الخ) المتصلة ظاهراً بمسائل ذات طبيعة طوبولوجية . ولكن ، تحت تأثير كارتان E. Cartan تحددت الروابط بين نظرية التنوعات القابلة للتفاضل وبين الطوبولوجيا الجبرية . في سنة 1929 ، مثل كارتان Cartan أفكار بوانكاريه ، لأعلن بشكل واضح ما يجب أن تكون القواعد التي تربط ، فوق تنوع قابل للتفاضل ، الأشكال التفاضلية المغلقة ، واعداد بيتي Betti ، والقواعد المبينة بذات الوقت تقريباً من قبل رام Rham ، وهي القواعد التي

شكلت فيما بعد إحدى نقاط انطلاق مفهوم التماثل المزدوج (Cohomologie) . في سنة 1940 ، استكملت قواعد رام Rham بنظرية هودج Hodge الذي عمم على الأشكال التفاضلية ، فوق فضاء ريمان Riemann المكثف ، مناهج ريمان المؤسسة على مبدأ ديريكليه Dirichlet (نظرية الأشكال الهرمونية = المتجانسة) الذي سوف يفتح الطريق إلى النظرية الحديثة حول المتنوعات التحليلية المسماة « كاهليرية » (Kähleriennes) .

أن الجيومتريا التفاضلية الكلاسيكية هي أيضاً في أصل النظرية الحديثة حول الفضاءات الخيوطية : أن اعتبار تنوع عناصر التماس في سطح ما يعود ، في المصطلح الحديث ، إلى اعتبار الفضاء الخيوطي وكأن أساسه « السطح » وخطوطه السطوح المماسية ؛ أما « طريقة الترييدر (Trièdre المضلع ذو الثلاثة مسطوح) المتحرك » المنسوبة إلى داربو Darboux فمؤداها قرُن هذا الفضاء الخيوطي (حيث يعمل في كل نقطة منه المجموع المتقاطع عمودياً) بالفضاء الخيوطي الرئيسي المطابق له (أي له نفس الأساس ، وكخيط في كل نقطة فضاء الترييدرات المثلثة المستطيلات في هذه النقطة) . لقد عمم كارتان E. Cartan كثيراً هذه المفاهيم في نظريته حول « الترابطات » حيث يمكن استبدال المجموعة التعامدية بزمرة ما من زمرة لي Lie ؛ ولكن التعريف الدقيق لمفهوم الفضاء الخيوطي لم يستتب إلا في سنة 1935 من قبل ويتني H. Whitney . وبعد ذلك بقليل بين ويتني Whitney وهوريفيتش Hurewicz وإهرسمان Ehresmann وهوف Hopf ومدرسته أن هذه الفضاءات تلعب دوراً ضخماً ، ليس فقط في مسائل الجيومتريا التفاضلية المنظورة من قبل كارتان E. Cartan ، بل في دراسة زمر Lie وما فيها من فضاءات متجانسة ، وكذلك في كل مسائل الطوبولوجيا حول المتنوعات القابلة للتفاضل (مثل المسائل ، التي تعود في عهدها إلى بوانكاريه Poincaré وبراور Brouwer ، حول وجود الحقول المستمرة بالنسبة إلى الموجهات Vecteurs أو الموجهات المتشعبة Multi-vecteurs المماسية لنوعية معينة) ؛ فضلاً عن ذلك . ، وكما لاحظ ويل A. Weil حوالي سنة 1950 ، أن المفهوم الكلاسيكي للقاسم على تشكيلة تحليلية أو جبرية مرتبط تماماً وبشدة بنمط خاص من الفضاء الخيوطي . ودراسة هذا المفهوم الجديد ، المشلود بقوة من كل الجهات ، انطلاقاً من سنة 1940 كانت غنية بالنتائج المتعددة ؛ نذكر أولاً إدخال الثوابت الجديدة « الشاملة » ذات الطبيعة الطوبولوجية والمرتبطة ببنية قابلة للتفاضل فوق تشكيلة (طبقات ستيفل - ويتني Stiefel - Whitney ، وطبقات بونترياغين Pontryaguine ، وطبقات Chern فوق تشكيلة تحليلية معقدة) يتيح حسابها حل العديد من المسائل الكلاسيكية التي كانت الثوابت الطوبولوجية السابقة عاجزة عن توضيحها . فضلاً عن ذلك إن مسألة تصنيف الفضاءات بخيط ويقاعدة معينين تؤدي إلى علاقات ملحوظة مع الطوبولوجيا بفضل إدخال « الفضاءات الطيفية » . وقادت هذه المسألة لوراي J. Leray أيضاً إلى خلق تنمية التتمعات الطيفية ، والمفهوم الأساسي للحزمة ، الأكثر مرونة والأكثر قوة أيضاً من مفهوم الفضاء الخيوطي .

وقد أتاحت هذه المفاهيم الجديدة والتقنيات تقدمات ملحوظة ، في العديد من التوجهات ؛ وذلك بفضل تطبيق طريقة التتمعات الطيفية الخيوطية المناسبة (الأكثر عمومية ، في الواقع ، من

الفضاءات الخيوطية التي قال بها ويتني Whitney أو إهرسمان Ehresmann) حصل سير Serre على نتائجه حول زمر هوموتوبية الأكر [موضوع = topie = مشابهة = Homo] ، وقد تم إثبات نتائج أكثر كمالاً فيما بعد بطرق مختلفة إنما مرتكزة أيضاً على مفهوم الفضاء الخيوطي (H. Cartan). ومن جهة أخرى اكتشف سير Serre وكارتان H. Cartan ، في سنة 1952-1953 أن نظرية الحزمات تشكل الأداة المثالية لإعطاء الصيغ « الشمولية » لطروحات نظرية الوظائف التحليلية لعدة متغيرات معقدة (وهي نظرية طورت منذ بوانكاريه وكوزون خاصة من قبل كارتيودوري Carathéodory وبهيك Behnke ومدرسته ، ومن قبل هـ . كارتان وأوكا Oka) . إن هذه الفكرة التي استعيدت ، ومن بين الذين استعادوها Kodaira وسبنسر Spencer (بالربط مع نظرية الأشكال الهرمونية) ثم هيرزبروك Hirzebruch وغراورث Grauert وريميرت Remmert ، قد أدت بسرعة ، في هذه السنوات الأخيرة ، إلى نتائج جديدة ومتناهية الروعة ، حول المنوعات التحليلية المعقدة وحول المنوعات الجبرية . ولن نذكر من هذه النتائج إلا اثنتين من الأكثر بروزاً : قاعدة كوديرا Kodaira وتعمير المنوعات الجبرية من بين المنوعات التحليلية المعقدة والكثيفة ، بشرط ذي طبيعة طوبولوجية (واقعة كونها « منوعة هودج ») ؛ ثم الصياغة العامة لقاعدة ريمان - روك Reimann-Roch المتعلقة بالمنوعات الجبرية المعقدة ذات البعد المطلق ، المنسوبة إلى هيرزبروك Hirzebruch ، هذه القاعدة تعبر بصيغة جبرية مربكة (حيث تتداخل مع غيرها أعداد برنولي Bernoulli) عن « مميزة بوانكاريه - أولر Euler - Poincaré » لفضاء خيوطي بقاعدة منوعة جبرية (وخيوطه فضاءات اتجاهية) كما هي محددة بنظرية التشابه المتبادل بين الحزمات ، بمساعدة طبقات شرن Chern في هذا الفضاء الخيوطي (طبقات ، في حالات خاصة ، كان عشر عليها بشكل آخر في سنة 1937-1938 من قبل تود Todd وإيجر Eger) . وقد أتاحت هذه الصيغة والنتائج الملحقة تبين فرضيات مشهورة وضعها سيفري Severi حول النوع الحسابي للمنوعات الجبرية .

وقبل ترك هذا العرض لمجال غني هو مجال تفاعلات الجيومتريا التفاضلية ، ونظرية الوظائف التحليلية والطوبولوجية الجبرية ، نذكر إحدى النظريات الأكثر حداثة وأصالة هي دراسة جبر الكوبورديسم Cobordisme ، دراسة حددها وميزها توم Thom : إن عناصره هي طبقات المنوعات القابلة للتفاضل والموجهة ، وتكون المنوعتان v و w موجودتين في نفس الطبقة إذا وجد منوعة موجهة حددها هو اتحاد غير متصل بين v و w . وبفضل النتائج العميقة حول الهوموتوبيا ، وبفضل بناء ملحق رديف وملهم أتاح استخدام هذه النتائج ، لم يستطع توم Thom فقط وضع بنية زمر الكوبورديسم (ذات المعاملات الجذرية) بل استطاع أيضاً ربطها بطبقات بونترياغين Pontraguine ؛ واستعمل أول تبين لصيغة هيرزبروك Hirzebruch هذه النتائج بشكل أساسي . فضلاً عن ذلك ، وبفضل الكوبورديسم ، بين Milnor ، سنة 1958 ، النتيجة المدهشة وهي أن الكرة S_n (لبعض قيم n) قد تقبل عدة بنيات قابلة للتفاضل وإن لم تكن متماثلة في الشكل . وقد سبق أن بين ميلنور Milnor وتوم Thom أن هذه الطبقات ذات البنيات تنظم ضمن زمرة (1) تمت دراستها من قبل سمائل Smale . ومن جهة أخرى حصل كرفير Kervaire على مثل عن منوعة بالمعنى الطوبولوجي (فضاء مكثف كل نقطة فيه لها جوار مفتوح متشاكل طوبولوجياً مع المجموعة

(R^n) لا توجد عليها أية بنية قابلة للتفاضل .

نذكر أخيراً تجديداً حديثاً للطوبولوجيا « المزججة » التي بفضلها - وباستخدام البحوث الأساسية التي قام بها وإتهيد J.H. Whitehead والمدموجة بأفكار جديدة - تمّ تقريباً ، حلّ مسألتين قديمتين : أن فرضية بوانكاريه ، ويموجبها تمييز الكرة S_n طوبولوجيا بين المنوعات ذات الحجم n ، بخاصية تملك مجموعة أساسية ، وإن كل مجموعات التشابكية هي « عدم » باستثناء المجموعة رقم n ، قد أثبتت إلا في حالتي : $n=3$ و $n=4$ (سمایل Smale ومتالينغز Stallings) . وبالعكس ، إن افتراض هاوتفرونتونج Hauptvermutung ، لإمكانية الحصول ، في حالة وجود فرعين قابلين للتبسيط - في نفس المعقد - على فرعين أكثر دقة ومتشابهي الشكل (من ناحية القابلية للدمج) ، بدأ غير صحيح (مازور Mazur وميلنور Milnor) .

الجبر الطوبولوجي - إن العلاقات بين الجبر والطوبولوجيا [مكان ، موقع = Topo ولوجيا = علم] ، والتي ستكلم الآن عنها هي ذات طبيعة مختلفة تماماً عن السابقة . إن استمرارية العمليات الجبرية هي أحد « قوانين » التحليل الأكثر استعمالاً ، لدرجة عدم التفكير بها في أكثر الأحيان . وبعد تطور نظرية الزمر ، في القرن التاسع عشر ، وجدت نفس الخاصية في أساس نظرية Lie الكبرى ، ولكن قلماً جرى التفكير بإجراء دراسة مسلمانية لهذه العلاقة بين الجبر والمفهوم الطوبولوجي للاستمرارية . وازدهار التحليل الوظيفي الحديث ، وخاصة إدخال - بين 1900 و 1910 - « فضاء هيلبرت Hilbert » و « الفضاءات L^p » ، هما اللذان سوف يظهران جدوى مثل هذه الدراسات (التي أدت انعدامها إلى عقم مدرسة فوليترا Volterra) . وأدى هذان الأمران ، مع رايز F. Riesz ، وهان Hahn وباناخ Banach وغيرهم ، بين سنة 1920 و 1930 ، إلى تأسيس نظرية الفضاءات الموجهة الطوبولوجية ، والتي تعالج بصورة أساسية ، المظهر الطوبولوجي للمسائل الخطية والمتعددة الخطوط . وبشكل خاص أن دراسة المفهوم الذي يعمم ، في الفضاءات الموجهة الطوبولوجية ، مسألة الشكل الرباعي ، قادت هيلبرت Hilbert إلى وضع أسس النظرية الطيفية للعوامل الهرميتية (نسبة إلى هيرميت) التي أصبحت ذات أهمية أساسية في العديد من مجالات التحليل (المعادلات التفاضلية ، والمعادلات ذات الاشتقاق الجزئية ، المعادلات المتكاملة) وكذلك في مجال الميكانيك الكمي . تجب الإشارة إلى أن إحدى أفكاره الموجهة كانت « الثنائية » ، وينوع من العودة إلى الوراء ، إن هذه الثنائية الطوبولوجية قد ساعدت على توضيح الأفكار حول الثنائية الجبرية الكلاسيكية ، المثقلة بالكثير من الظاهرات الخاصة .

إن الدراسات حول الزمر العامة تشعر من جهة أخرى ، بالحاجة إلى الخروج من الأطار الضيق ، إطار نظرية زمر لي Lie . وصاغ شراير O. Schreier ، سنة 1927 ، وبشكل عام مسلمات الزمر المسماة « طوبولوجية » ، حيث تخضع العمليات للتواصل . وفي السنوات العشرين التي تلت ، تقدّم فرع هذه النظرية المخصصة للزمر المكثفة محلياً (الأقرب إلى زمر لي Lie والأكثر تواجداً في التطبيقات) بخطى جبارة : في سنة 1933 بين هار Haar على هذه الزمر وجود مقياس ثابت (معروف منذ زمن بعيد بالنسبة إلى زمر Lie) ؛ وهو اكتشاف قد أتاح تقريباً في الحال

لبونترياغين Pontriaguine أن يبنى ، بالنسبة إلى الزمر التبديلية محلياً والمكثفة ، نظرية الصفات المقبسة من نظرية فيبر فيما يخص الزمر المتناهية ، ولكن التي أظهرت هنا من جديد « ثنائية » ملحوظة (مرتبة قليلاً في الحالة الكلاسيكية ، وشديدة الخصوصية ، مرة أخرى أيضاً) . وبعد ذلك بقليل ادخل ويل A. Weil في هذا الاطار كل النظرية الكلاسيكية حول سلاسل فورييه Fourier ، وتحول فورييه ، الذي برز مظهره من خلال هذا التحليل « الهارموني » (التوافقي) الجديد .

أما بالنسبة إلى الزمر الكثيفة (المتصلة أم لا) ، أتاح قياس هار Haur أيضاً توسيعاً (توسيعاً سبق اجراؤه من قبل شور I. Schur وويل II. Weyl بالنسبة إلى زمري Lie حوالي 1925) لنظرية الصفات والتمثيلات الخطية للمجموعات المتناهية ، واستخرج منها فون نيومان Von Neumann وبونترياغين Pontriaguine ، من بين آخرين ، حلاً ، فيما يخص الزمر المكثفة ، « للمسألة الخامسة » ، الشهيرة عند هيلبرت Hilbert ، يميز زمري بخصائص طوبولوجية حيث لا يفترض « مسبقاً » وجود البنية القابلة للتفاضل .

وبالنسبة إلى الزمر المكثفة محلياً والعامه ، تأخر حل المسألة الخامسة وانتشار نظرية التمثيلات الخطية ، مدة أطول . وأنه في سنة 1951 فقط ، توصل غليسون Gleason ، باستعمال ماهر لنظرية هيلبرت حول القضاء ، إلى اجتياز الخطوة الحاسمة نحو حل المسألة الخامسة ، حلاً تحقق لاحقاً وبسرعة على يد زيبين Zippin ومونتغمري Montgomery ، ثم بسطت إلى حد بعيد ، بعد ذلك بمدة سنة ، من قبل ياماب Yamabe . أما نظرية التمثيلات الخطية ، فلم تحقق تقدماً ملحوظاً ، إلا بعد أن تم تحديد المماثل الطوبولوجي « لجبرات الزمر » وإلا بعد التألف مع معالجتها ؛ ويقول آخر ، توجب أن يتعمم على الحالة « الطوبولوجية » ، ليس فقط مفهوم الزمرة ، بل أيضاً مفهوم الحلقة .

في هذا الاتجاه ، حصلت أولاً الدراسة المعمقة لنمط خاص جد مهم ، هي حلقات العوامل في فضاء Hilbert ، دراسة طورها فون نيومان Von Neumann (بالتعاون مع موراي Murray) في سلسلة من المذكرات المهمة بين 1935 و 1940 . ثم في سنة 1941 ، طور غلفاند I. Gelfand ومدرسته النظرية العامة حول الجبرات المقننة ، وهي إحدى أجمل التطبيقات لنظرية فضاءات باناخ Banach ، والتي أتاحت في الحال تبسيط وتوحيد تبيينات التحليل الهرمونيكي ، وهكذا ارتبطت ثنائية بونترياغين Pontriaguine بثنائية فضاءات باناخ Banach . ومن جهة أخرى ، فتح هذا التصيغ الجديد الطريق أمام نظرية التمثيلات الخطية للزمر المكثفة محلياً والعامه ، والتي تم تطويرها على أساس نموذج الحالة الاتصالية . ولكن على الرغم من التقدمات الملحوظة المحققة في هذه السنوات الأخيرة ، خاصة فيما يتعلق بالتمثيلات الخطية للزمر لي Lie (ماوتنر Mautner وماكي Machey وسيفغال Segal وغودمنت Godement وغلفاند ونيومارك Neumark ، وهاريش - شاندر Harish - Shandra وبروهات Bruhat وديكسميه Dixmier) ظلت مسائل كثيرة مفتوحة ، لأن النظرية أكثر تعقيداً مما هي في الحالة التبديلية ، وتقتضي وسائل أقوى بكثير (مثل جبرات فون

نيومان von Neumann ومثل نظرية التوزيعات (وكذلك اعتبارات لنظرية وظائف المتغيرات المعقدة والجيومترية الجبرية .

اللغة الطوبولوجية في الجبر - في الأمثلة المشار إليها أعلاه ، كانت البنية الطوبولوجية قسماً متمماً للمعطيات في المسائل المعالجة . ولكن ، منذ بداية القرن ، تطورت نظريات أخرى لم تعد فيها الطوبولوجيا إلا « لغة » تتيح التعبير ، بأشكال أيسر ، عن بعض الحالات الجبرية .

وبقول آخر ، في هذه التطبيقات ، من الممكن تماماً التعبير عن كل شيء دون استعمال أية كلمة طوبولوجية ، ولكن ، في التطبيق لا تقدم اللغة الجيومترية تبسيطاً ضخماً في الصياغات وحتى في التبيينات ، بل تقترون أيضاً ، عند الرياضيين الذين يستعملونها دائماً ، بنوع من الحدس تبين أنه دليل كثير الفعالية .

والمثل الأول والنموذج الأساس لاستعمال هذه اللغة الطوبولوجية هي النظرية الشهيرة ، نظرية الأعداد البادية (p- adiques) التي وضعها هنسل Hensel في حوالي 1900 . وهي تعطي شكلاً جديداً لنظرية « التطابقات العليا » التي وضعها ديدكيند Dedekind (انظمة التطابقات بحسب المثقلات المتزايدة الكبرى لعدد (أو مثالي) أول) : وتقوم فكرة هنسل Hensel على تزويد مجمل الأعداد الجذرية (أو بشكل أعم ، تزويد جسم من الأعداد الجبرية) « بمسافة » من صنف جديد ، فيه تتوجه مثقلات (Puissances) العدد (أو المثالي) الأول نازعة نحو الصفر عندما يكون المثقل (exposant) متزايداً بلا حدود ؛ وتتحدد الأعداد البادية Padiques انطلاقاً من هذه المسافة ، عن طريق ذات النهج « الاستكمالي » الذي قدّم الأعداد الحقيقية انطلاقاً من الأعداد الجذرية ، بالنسبة إلى المسافة الاعتيادية . هذه الفكرة الثورية ، في زمنها ، لم تتطور ولم تتعمم إلا ابتداءً من سنة 1918 ، أولاً على يد أستروسكي Ostrowski ، ثم من قبل هاس Hasse ، تلميذ هنسل Hensel ، الذي شجّع استعمالها ، والذي بفضل انتشار المفهوم الذي بموجبه تلعب الأعداد الأولى ، في الحساب ، دور النقاط في تشكيلة جبرية ، وتلعب « التطويرات P- adiques » دور تطويرات « بويزو Puiseux » في جوار نقطة ما . من هنا المبدأ المزدوج القائم - في كل مسألة تمس نظرية الأعداد - على اعتبار هذه النظرية من الناحية « المحلية » أولاً ، في كل « موضوع » (وهو اسم آخر بالنسبة إلى المُثل الأولى ، التي يجب أن يضاف إليها « المواضع » أو « الأمكنة اللامحدودة » المتوافقة مع الاستكمال ، في المسافة الاعتيادية ، أي مع الإغراق الكلاسيكي للجذرديات بالحقيقيات ، ثم ، بالنسبة إلى كتل « حقول » الأعداد الجبرية ذات الإغراقات المختلفة الممكنة « لمقل » ما في حقل الأعداد المعقدة) ، وبالتالي ، بعد حل المسألة « المحلية » ، عندها يجب الصعود « من المحلي إلى الإجمالي » .

وسوف تجد هذه المبادئ ، في السنوات 1920-1935 ، مجال تطبيق رحب في نظرية حقل الطبقات ونتائجها بالنسبة إلى نظرية الجبريات على حقول الأعداد والنظرية الحسابية المتعلقة بالأشكال المربعة (المؤديات الحديثة للأعمال الرائعة حول نظرية الأعداد ، في القرن التاسع عشر ، والتي يعود الفضل فيها بشكل خاص إلى مدرسة غوس Gauss) . وبعد ذلك بقليل ، اتخذ

« الانتقال من المحلي إلى الاجمالي » منحى جيومترياً جديداً ، وذلك بفضل ما أدخله شوفالي Chevalley من مفهوم « الايدل » « l'idèle » وقوامه اغراق جسم الاعداد المدروسة في الحصيلة (الطوبولوجية) ، حصيلة متمماته في مختلف « المواضع » ، مما أتاح صياغة قواعد أساسية لنظرية الاعداد الجبرية في عدد قليل من الصيغ الملفتة ، المستعارة من معجمية نظرية الزمر الكثيفة محلياً . ومن زمن غير بعيد ، ارتؤي أن استعمال قيامس هار Haar في هذه الزمر يحول إلى صيغ متناهية البساطة القواعد الكبرى التي وضعها مينكوسكي - سيجل حول الاشكال الرباعية (تاماغاوا Tamagawa) . ونذكر أيضاً ادخال الجبر التمثالي في نظرية حقل الطبقات ، مع ويل (تااماغاوا Tamagawa) . هوشيلد Nakayama - Hochschild وخاصة تاتي Tate ، الذي وضع ، بفضل تغيير عبقري في نظرية التماثل المتبادل (الكومولوجيا Cohomologie) في الزمر المنتهية ، ضوءاً جديداً على الطرق السابقة وفتح الطريق أمام تقدم جديد .

وإذا كانت الهندسة الجبرية الكلاسيكية قد ألهمت ، مع هنسل Hensel ، لغة جديدة للحساب ، فإن هذا الأخير قد أعطى ، بالمقابل ، للهندسة الجبرية عوناً فعالاً للخروج من اطارة التقليدي . إن القضايا الديوفانتية حفزت إلى اعتبار النقاط الجذرية حول متنوعات محددة ومعروفة بمعادلات ذات معاملات جذرية ، أي إلى التخلي ، فيما يخص هذه المتنوعات ، عن كل ما يخرج من حقل هذه الاعداد الجذرية ، وبالتالي التحرر من المبدأ الذي يجعل من الجيومتريا الجبرية فرعاً من التحليل ، مستقلاً تماماً عن نظرية وظائف المتغيرات المعقدة . وأكثر من ذلك ، في القضايا الديوفانتية ، إذا أردنا أن «نموقع» (بالمعنى الحسابي المار ذكره أعلاه) كان لا بد من النظر إلى المعادلات وحلولها « مقامس p » (p أول) ، أي الانتقال في الواقع إلى حقل متناه ، وبعد منهجة شتاينيتز Steinitz ، أصبح من الواضح أن هذا يرد إلى الرغبة في توسيع مجال الجيومتريا الجبرية ، على أساس اتخاذ « حقل أساسي » ليس حقل الاعداد المعقدة في الجيومتريا الجبرية الكلاسيكية ، بل مطلق حقل اتصالي . إلا أن هذا كان يقتضي ، بصورة أوتوماتيكية الاقلاع عن كل استعمال للطرق « التجاوزية = المتسامية » ، التي خدمت تماماً بيكارد Picard وليفشيتز والجيومتريين الايطاليين ؛ بل وبداء من الصعب الاحتفاظ بالاتصال مع الحدس الجيومتري في هذه الجيومتريا المجردة الجديدة . وبالفعل ان المحاولات الأولى في هذا الاتجاه ، على أثر نودر Noether وفان در واردن Van der Waerden ، استبدلت التحليلات الجيومتريية المعتادة باعتبارات معادلة في الجبر الخالص ، حول الحلقات ، والمثل والقضاءات الحلقية التي كانت ذات دقة خالصة ؛ إلا أنها بدت أقل بعداً من الأساليب الكلاسيكية ، وبدت كأنها توقع الجيومتريا الجبرية الجديدة في مسارات شاق وبطيء . وفي المجال المحلي ، أتاحت طريقة هنسل - أستروسكي ، الخروج بسرعة من هذا الواقع ، وذلك بفضل الأعمال الأساسية التي قام بها كرول Krull حول المفهوم العام ، مفهوم « التقسيم » وبشكل أعم « الحلقة المحلية » : فالطورات ذات السلسلة الشكلية ، احتلت فيها ، بدون صعوبة ، مكان السلاسل المتلاقية في التحليل الكلاسيكي . ويبقى إذا العودة أيضاً إلى الحدس الجيومتري « الشامل » ، مع تقديم وسيلة تربط فيما بين « الأمكنة » التي يفصل بينها الجبر المحلي . وبخلال العقد 1945-1955 ، أتاحت طريقة أولى -

تعمى إلى ويل A. Weil - مؤسسة على تشغيل « النقاط النوعية العامة » (المعرفة بشكل جبري خالص) و « تخصيصاتها » ، ليس فقط ، وضع - وبشكل كامل - ما ينقص المحاولات السابقة (وحتى ، والحق يقال ، ما ينقص الجيومترية الجبرية الكلاسيكية) ، أي وضع نظرية دقيقة ومرنة لتعددات التقاطع ، الذي بفضلها يمكن - حول نوعية جبرية مجردة - معالجة « الحلقات » الجبرية بشكل مأخوذ تماماً عن حساب « السلاسل » في الطوبولوجيا الجبرية ، بل إنها أيضاً ، عند واضعها وتلاميذه ، يجب أن تؤدي إلى نجاحات باهرة في الجيومترية « التجريدية » . والأبرز كان التبيين - بالنسبة إلى المنحنيات الجبرية المحددة فوق حقل متناه - تبيين ماثل - فرضية ريمان Riemann « الكلاسيكية » ؛ وكما بين ذلك ويل سنة 1948 كان لهذه القاعدة نتائج مهمة في النظرية التحليلية للأعداد ، فقدمت أفضل زيادة ممكنة لمجاسيع الأسات :

$$\sum_{x=1}^{p-1} \exp(2\pi i f(x)/p)$$

(باعتبار p عدداً أول و f متعدد حدوداً معاملات صحيحة) لم يكن بالإمكان ، من قبل ، الحصول منها إلا على تقديرات غير دقيقة .

وعلى كل لم تقم تقنيات Weil إلا جزئياً التحريك الجيومترية للنقاط والنوعيات المنقوصة . ويتم حالياً التوجه نحو طريقة أخرى ، تجد منشأها في أعمال زاريسكي Zariski وتقوم على الاكتفاء من النوعية الجبرية « المجردة » بطوبولوجيا أقل دقة من الطوبولوجيا المتاحة في النظرية الكلاسيكية : مثلاً ، فوق منحني جبري ، نأخذ منه كمجموعات مغلقة المجموعات المتناهية ، وإذن فالطوبولوجيا لا تحقق مسلمة هاوسدورف Hausdorff إذا كان حقل الأساس لا متناهياً . إلا أن هذه الطوبولوجيا تمتاز بأنها ممكنة التحديد بشكل جبري خالص ، وقد يحدث أنها - حتى في الحالة الكلاسيكية - تقدم عملياً نفس الخدمات التي تقدمها الطوبولوجيا المعتادة في الجيومترية الجبرية . وقد كسبت هذه الأفكار ، بشكل خاص ، وزناً منذ أن لاحظ سير Serre في سنة 1955 أن فكرة « الحزمة » ، المفيدة جداً في نظرية المنوعات التحليلية المعقدة ، تطبق كذلك أيضاً على الجيومترية الجبرية المجردة ، بعد تجهيز نوعية « طوبولوجيا زاريسكي Zariski » : وهي طريقة بينت ، بخلاف عدة سنوات ، خصوصيتها المحلوطة بين يدي واضعها ويدي غروتنديك Grothendieck ، الذي أشمل (بل وعمم بشكل ضخم) إلى الحالة « التجريدية » صيغة ريمان - روك - هرزبروك Riemann - Roch - Hirzebruch . ضمن هذه التوسيعات ، يلعب الجبر التماثلي بالطبع دوراً بارزاً كما في النظرية الحديثة حول المنوعات التحليلية المعقدة ، وفي الواقع تتفاعل طرق ومفاهيم هاتين النظريتين ، باستمرار ، فيما بينها : ويستطيع الجبر التماثلي أيضاً ، كما لاحظ ذلك سير Serre ، أن يلعب دوراً مفيداً جداً في الجبر المحلي . ويعتبر هذا الأخير (الذي طور بشكل ملحوظ بعد كروك ، على يد شوفالي وزاريسكي وكوهن I. Cohen ، وسمويل Samuel ، وناغاتا Nagata) إحدى الأدوات الأساسية في الجيومترية الجبرية منظورة من الجهة التي أشرنا إليها .

نذكر أخيراً أنه ، تحت اسم « الحد الاسقاطي » ، تلعب الطريقة التي ابتكرها هنسل ، دوراً مهماً في الكثير من المجالات الأخرى ، وخاصة في الطوبولوجيا الجبرية (من أجل تعريف « تماثلية تشيك Čech ») وفي نظرية الزمر المكثفة محلياً والعامة . فضلاً عن ذلك ، تتضمن هذه

العملية عملية « ثنائية » : عملية « الحد المستقر » التي قلما تدخل الطوبولوجيا ، إلا أنها تستعمل بشكل شائع في كل الجبر ، كما أنها أساسية في نظرية الحزم .

الملتحق : زمر لي Lie - لقد أشرنا عدة مرات إلى نظرية Lie . الواقع ، أن هذه النظرية قد أصبحت في عصرنا أحد « مراكز التوزيع » في الرياضيات ، حيث تختلط وتتفاعل التأثيرات الأكثر تنوعاً .

من المعلوم أن لي قد ابتكر نظريته « حول الزمر المستمرة » لكي يجيب على مسائل متنوعة حول أسس الجيومترية وتكامل المعادلات التفاضلية وعلى المشتقات الجزئية . في تلك الحقبة ، لم يكن التمييز بين « المحلي » و « الاجمالي » بمثل وضوحه في أيامنا ، ورغم أن أغلبية الزمر الخاصة التي نظر فيها Lie ومدرسته ، قد عُرِفَت اجمالياً ، فإنه ، من وجهة نظر محلية خالصة ، درس عموماً « زمرة المستمرة » . ان الاكتشاف الاناسي عند لي Lie هو أنّ البنية المحلية لمثل تلك الزمرة تنعكس بآمانة في بنيته « اللامتناهية الصغر » : إنّ المعرفة حتّى المرتبة الثانية اللامتناهية الصغر بالوظائف (الدوال) التي تعطي قانون الزمرة ، تكفي لإعادة تكوينها كاملة (بشكل سلاسل كاملة لا تتلاقى بالضرورة أينما كان) . إنّ هذه البنية « اللامتناهية الصغر » تعبر عن نفسها بالشكل الجبري الخالص في نظرية « جبرات لي Lie » ، وبناء هذه النظرية كان الهدف الأول عند Lie وتلاميذه . وبفضل الأعمال الأساسية التي قام بها كيلينغ Killing وكارتان E. Cartan ، تحقق هذا الهدف الأول بشكل أساسي منذ نهاية القرن التاسع عشر ، وخاصة مع الاكتشاف ومع التصنيف الكامل لجبرات Lie « النصف بسيطة » ، حول حقن الاعداد المركبة (بالنسبة إلى جبرات لي Lie النصف بسيطة الحقيقية ، وقد توصل E. Cartan إلى نفس النتيجة سنة 1914) .

إن المجموعات التي نظر فيها في البداية لي Lie قدمت كمجموعات من التحولات تتناول فضاءات أو أجزاء من فضاءات متنوعة ، ومن جلائل أعماله أنه استخرج من هذا المظهر النظرية الذاتية ، حيث درست الزمرة بمعزل عن « تحقيقاتها » الممكنة كزمرة تحولات . ولكن هذه التحولات ، وخاصة التمثيلات « الخطية » ظلت تحتفظ بأهمية بالغة ، خاصة في مجال التطبيقات . ومن وجهة النظر « المتناهية الصغر » ، طوّر E. Cartan هذا المظهر من النظرية ، واعطاها حلاً كاملاً فيما يخصّ التمثيلات الخطية (من البعد المتناهي) المتعلقة بالجبرات نصف البسيطة (وقد سبق أن أشرنا إلى الدراسة الأحدث حول التمثيلات الخطية لمجموعات Lie في الفضاءات (الوظيفية) ذات البعد اللامتناهي . ومن المفيد الإشارة إلى أن هذه النظرية لها علاقات وثيقة ببعض أنماط المعادلات ذات المشتقات الجزئية ، ومن بينها العديد من « الوظائف الخاصة » (معمة الروابط التي سبقت الإشارة إليها من قبل كارتان E. Cartan ، بشأن تمثيلات الحجم المتناهي ، ومن بينها الوظائف الكروية الكلاسيكية) ، وليس من المستحيل أن يأتي يوم توحد فيه نظرية هذه الوظائف بصورة كاملة وتُنهج بفضل نظرية زمر لي Lie) .

في سنة 1925 ، تغير مظهر النظرية فجأة ، وذلك بعد قيام ويل H. Weyl بإدخال مسائل تتعلق بزمرة Lie « الاجمالية » ، وخاصة زمرة Lie الكثيفة ، ويّين ويل ، كيف أن التكامل ، في هذه المسائل ، بالنسبة إلى القياس اللامتغير حول المجموعة (تكامل استعمله هورفيتز Hurwitz منذ

1897) ، يعطي ثانياً ، بشكل أسرع ، نتائج كارتان E. Cartan حول بنية وحول مستقيمت تمثيلات جبريات لي Lie البسيطة ، بعد استكمالها في نقاط كثيرة أساسية . هذه النتائج الباهرة حملت كارتان E. Cartan على العودة إلى كل النظرية من وجهة النظر الشاملة الاجمالية . فدمج كارتان نتائجه الخاصة « اللامتناهية الصغر » بأفكار ويل H. Weyl وبحوثه الذاتية حول الجيومترية الريمانية (نسبة إلى ريمان Riemann) فتوصل ، فيما توصل ، إلى توضيح بنية كل زمرة Lie الكثيفة ، وإلى تبين وجود - داخل كل زمرة لي Lie الاجمالية - زمرة فرعية كثيفة قصوى (قاعدة تبقى احدى القواعد الأعمق في كل النظرية) ؛ فضلاً عن ذلك لقد طرح لأول مرة مسألة بنية الزمر الشاملة وفضاءاتها المتسقة من وجهة نظر الطوبولوجيا الجبرية ، وبُين أنه بالنسبة إلى الزمر ، ترتد هذه البنية إلى بنية الزمرة الفرعية الكثيفة القصوى . هذه المسألة حملته على استعادة آراء بوانكاريه Poincaré حول العلاقات بين الأشكال التفاضلية واعداد بيتي Betti ، وعلى التكهّن بسلسلة كاملة من خصائص اعداد بيتي Betti حول الزمر البسيطة الكلاسيكية التي استطاع أن يبين بعضاً منها .

إن هذه الأفكار سوف يكون لها أثر كبير على الجيل الشاب بعد 1935 (براور R. Brauer وهوف H. Hopf وتلامذته تم ايهرسمان Ehresmann) ، والتقنيات التماثلية من تلك الحقبة اتاحت منذ ذلك الوقت من حديدات كارتان E. Cartan حول المجموعات الكلاسيكية . في سنة 1949 استكملت هذه النتائج بتحديد اعداد بيتي Betti حول الزمر البسيطة الاستثنائية (شوفالي وين - تشي - تاه Yen - Chi - Tah) ، تحديد جاء كنقطة ذروة في دراسة الوسائل الجبرية الخالصة التي تسمح باستخراج كل النتائج التماثلية المطلوبة من قبل جبر لي Lie حول الزمرة (ويل ، شوفالي ، كارتان H. Cartan ، كوزول Koszul) . وبعد ذلك بقليل ، أكمل تطبيق - من قبل بوريل A. Borel وسير Serre - التقنيات الطوبولوجية الأكثر تقدماً (الفضاءات الخيوطية التصنيفية ، قوات ستينرود Steenrod ، السلاسل الطيفية) هذه النتائج بسلسلة كاملة من القواعد حول الجدول والبنية التضعيفية في التماثل المتبادل Cohomologie . وأخيراً ، ومن وقت قريب ، أتاحت طرق من طبيعة أخرى مختلفة (مركزة على حساب التبدلات الشامل ، نظرية مورس Morse) ، اضافة إلى التقنيات الحديثة في الطوبولوجيا الجبرية أمام بوت R. Bott أن يحدد نسباً كبيراً من زمر هوموتوبيا الزمر البسيطة . ونظراً للدور المركزي الذي تلعبه زمر لي في نظرية الفضاءات الخيوطية ، فقد بدت هذه النتائج منذ ذلك ذات مدى ضخمة ، وشكّلت أول مثل حول التحديد الإيضاحي لسلسلة $\pi_n(X)$ بالنسبة إلى فضاء (X) غير عادي .

إلى جانب هذا المظهر الطوبولوجي الغني جداً ، قدمت زمر لي Lie مظهراً جبرياً لا يقل أهمية . فقد لاحظ Lie وكارتان E. Cartan أن الزمر البسيطة لها معادلات شاملة جبرية ، وأدرك كارتان E. Cartan أن الزمرة المشتقة من زمرة Lie الخطية يمكن دائماً تحديدها بهذا الشكل . إن الأفكار الحديثة في الجيومترية الجبرية « المجردة » يجب أن تجر ، بداهةً ، رياضي زمننا إلى القيام بدراسة خاصة للزمر الجبرية ، وبالطبع دون الاختصار على الحالة الكلاسيكية ، حالة الحقول الأساسية ، سواء كانت هذه الحالة حقيقية أم معقدة . هنا تسقط الطرق المنتهية الصغر تماماً ؛ فضلاً عن ذلك ، وحتى في الحالة الكلاسيكية ، هناك فئة كاملة مهمة من الزمر الجبرية لا

تستطيع فيها نظرية لي إلا اعطاء نتائج تافهة ، وهي « المنوعات الايبلية » التي يرجع تاريخ درسها إلى ريمان والتي طورها الجيومثريون الطليان . وفي أيامنا ، توسعت هذه النظرية ذات الانعكاسات العميقة على الجيومترية الجبرية وعلى نظريات الاعداد لتشمل الحالة المجردة ، وذلك بفضل ويل A. Weil ومدرسته . وعلى العموم بين شوفالي أن زمرة جبرية ما G مثلاً لها زمرة فرعية ثابتة خطية L بحيث يكون الحاصل G/L متنوعة آيبلية ؛ وبالنسبة إلى الزمر الخطية ، وبفضل طرق جديدة وضعها بوريل A. Borel ، توصل سنة 1956 إلى اثبات تماهي تصنيف الزمر نصف البسيطة (من حقل مغلق جبرياً) مع تصنيف كيلينغ - كارتان في الحالة « الكلاسيكية » وهي نتيجة غير متوقعة بقدر ما هي واعدة ، ويتوجب بعد معالجة حالة الحقول الأساسية غير المغلقة جبرياً ؛ ومن الممكن بشكل خاص أن تكون لدراسة زمر Lie حول الأجسام البادية P -adiques نتائج مهمة بالنسبة إلى المسائل الديوفانتية . وأخيراً ، يبقى أن نشير إلى نتيجة اخيرة ملحوظة تماماً عند شوفالي (1955) : انطلاقاً من جبريات لي Lie البسيطة حول الاعداد المعقدة فقد استطاع أن يستخلص منها ، بوسيلة موحدة الشكل ، زمراً (تجريدية) بسيطة محددة ونهائية ، بعض أنماطها جديد كلياً . ومن الواقعي أنه من خلال أساليب مماثلة ، يمكن الحصول على كل الزمر البسيطة المعروفة في الوقت الحاضر ، وربما يعتبر هذا خطوة نحو حل إحدى المسائل الأصعب في الجبر الحديث وهي تحديد كل الزمر البسيطة النهائية .

الفصل الثالث

نظرية وظائف المتغيرات الحقيقية

في وضع من التماثل شبه الكامل ، عند ولادة القرن الحالي [القرن العشرين] تلقت نظرية وظائف المتغيرات الحقيقية تغيراً شاملاً غير طبيعتها بشكل جذري .

ما قدمه القرن التاسع عشر - لقد حدد القرن التاسع عشر بصورة تدرجية ومجتهدة التصورات الأساسية التي عليها ارتكز البناء الجديد .

في سنة 1281 حدد كوشي Cauchy الاستمرارية والتلاقي . الأمر الذي أعطى لتحديداته سمة جديدة ونهائية ، انها تجاهلت الوسيلة التي بها تعرف الوظائف (الدالات) عن نفسها ، في حين كان التعبير الشكلي والوظيفة ، من قبل ، مفهومين لا يفترقان .

ولكن كوشي لم يستعمل هذه الأدوات القوية إلا في مجال الوظائف التحليلية التي خلق لها نظريتها المدهشة . ولم تهتم مدرسته بوظائف المتغير الحقيقي إلا عندما تتوافق هذه الوظائف مع القيم المتحدة على المحور الحقيقي بفضل وظيفة تحليلية . واستعمل فايرستراس Weierstrass في الحقل الحقيقي المبادئ التي وضعها كوشي ، فحلل مفهوم الاستمرارية في وظيفة متغير ، في كل نقطة من جزء خط (a, b) (بما فيه طرفاه) ؛ وأوضح المفاهيم الرئيسية في التناقص ، والاستمرارية المتسقة فوق (a, b) ، ذات التلاقي المتسق في سلسلة ، كما بين استقلالية مفاهيم الاستمرارية والاشتقاقية .

وعلى كل فقد كانت له عودة إلى الهم القديم الكلاسيكي حول الوظيفة الخاضعة لأسلوبها التعميري . وأثبت أن كل وظيفة مستمرة هي مجموع سلسلة من متعددات الحدود (Polynômes) المتلاقية بشكل موحد . أن التلاقي ، في كل نقطة ، في سلسلة من الوظائف المستمرة لا يؤمن استمرارية مجموعها ؛ أن السلاسل التريغونومترية قد أثبتت ذلك . وكان لا بد من انتظار القرن التاسع عشر ، كي يعطي آرزيلا Arzela ، مع مفهوم شبه الواحد في التلاقي ، الشرط الضروري والكافي لكي يكون مجموع السلسلة مستمراً . وهناك انجار آخر حاسم : المبدأ الذي وضعه ديريكليه Dirichlet ، وبموجبه يكون y وظيفة تبعاً لـ x منذ أنه ، وبموجب مطلق وسيلة ، يُعتمد إلى

مطابقة أي x معين مع أي y معين . ويذكر أن هذه المفاهيم والتعاريف المطبقة على دراسة المتغيرات الحقيقية قد ابتدعت من أجل متغير وحيد ، مع الفكرة الضمنية القائلة بأن الصعوبات الأساسية كانت كلها ضمن هذه الحالة .

ويأتي أخيراً التعريف الشهير الذي وضعه ديدكيند Dedekind للعدد اللاجذري . إن الأدوات المنطقية قد أصبحت موجودة الآن . وتنقص المواد فقط . وقد قدمها كانتور Cantor ، بفضل نظريته حول المجموعات (ensembles) ، التي سوف تشكل أمثلتها من نقاط المستقيم ، فالنقاط والاعداد قد اختلطت في ذهنه (راجع المجلد III) .

وسف يحدث منعطف في النظرية . في السابق ، كانت الوظائف تعتبر فقط حول المسافات ، وجوار النقطة كان مسافة ، والآن ، تدرس الوظائف فوق مجموعات متنوعة من النقاط ، وجوار النقطة أصبح مقتصرًا على نقاط من هذا المجمع . وتفتت المحتوى : أنه غبار من النقاط عند ديدكيند Dedekind . ومن اليسير استعمال هذه النقاط لتشكيل أي تجمع مطلوب .

وتلقى الرياضيون أفكار كانتور Cantor برهبة وأحياناً بغضب . وطيلة عشرين سنة ظلت قلة من المحللين فقط (من ذوي الرؤى الكلاسيكية جداً مع ذلك ، منهم بوانكاريه Poincaré بوظائف الفوشيه (نسبة إلى فوش Fuchs) ومساراته على كرة « القالب الطوفي » (tore) ، ومنهم أيضاً بانليفه Painlevé ، ومعها نقاطه الأساسية ، غير المعزولة عن الوظائف التحليلية) ، تعتمد المجموعات الكاملة المتقطعة تماماً .

وبعدها تم وضع قياس المجموعات (راجع الفصل الأول من هذا القسم) . وبذات الوقت تقريباً فتح بير Baire وليبيغ Lebesgue ، عهداً جديداً في نظرية وظائف المتغيرات .

نظريات بير - توافقت فكر بير Baire تماماً مع فكر كانتور Cantor . وبفضله ، فإن الموارد التي قدمها كانتور إلى المحللين وهي القابل للعد ، وفوق المتناهي ، والمجموعات الجيومترية كشفت عن غناها . وقبل ذلك ، تم التساؤل عن كيفية اجبار سلسلة من الوظائف المتتابعة على التوجه نحو وظيفة مستمرة . وقلب Baire المشكلة . ما هي الصفات الضرورية والكافية التي تقدمها $f(x)$ لكي تكون عند حد سلسلة من الوظائف المتتابعة ؟ وحل بير هذه المسألة بتحليل مذهش .

فالوظيفة التي تمتلك نقطة واحدة من اللاتباع ، ثم عدداً متناهياً من مثل هذه النقاط ، هي حد للوظائف المتتالية . وعرف كانتور Cantor مشتق مجموعة غير متناهية E . إنها المجموعة E' لنقاط تراكم E ، أي للنقاط التي لها في هذا الأخير عدد لا متناهي في جوارها . إن هذا المشتق قد يكون لا متناهياً وقد يقبل مشتقاً . ويمكن تعريف مشتقات من كل مرتبة متناهية أو فوق متناهية . إذا كانت α ذات سابق $(\alpha - 1)$ فإن E^α هي مشتق $E^{\alpha-1}$ ؛ وإذا كانت α من دون سابق إن E^α هي المجموعة المشتركة بين كل E^α عندما تكون $\alpha < \alpha'$. ويقال عن المجموعة معدومة المشتق أنها قابلة للاختزال ؛ وهي قابلة للعد . وإذا كان مجمل نقاط انقطاع f قابلاً للاختزال فإن f تكون حداً

للووظائف المستمرة . وإذا كانت المجموعة غير قابلة للاختزال ، فإن أحد مشتقاتها يكون كاملاً .

وقد حدد بير المجموعات الكثيفة ، الكثيفة في كل مكان ، وليست الكثيفة فوق مجموعة كاملة معينة P . ويُن أن P لا يمكن أن تكون مجموع عدد كبير قابل للعد من المجموعات غير الكثيفة عليه . وقد أعطى لمثل هذا المجموع اسم المجموعة من الفئة الأولى على P . وكل مجموعة تحتويها P ، دون أن تكون من الفئة الأولى على P يُقال لها من الفئة الثانية . وأعطى دنجوي Denjoy اسم بقية P للمجموعة الواقعة على P والتي تتمتعها بالنسبة إلى P هي مجموعة من الفئة الأولى .

واكتشف بير Baire أن المجموعة الكاملة ، حتى ولو كانت منقطعة تماماً ، تقدّم للوظائف دعماً يعادل بشكل محسوس المجموعة المستمرة . وحدّد في كل نقطة من المجموعة الكاملة P الذروة ، والأدنى ، والتأرجح المختصة جميعها بـ P والعائدة لوظيفة محدّدة على P . وقد بيّن أنه بالنسبة لكل وظيفة قصوى من الوظائف المستمرة ، وبالنسبة إلى كل مجموعة كاملة ، تكون مجموعة نقاط انقطاع الوظيفة f المختصة بـ P ، من الفئة الأولى ؛ f هي إذن منقطعة نقطياً فوق P (نقاط الاستمرار هي كثيفة في كل مكان فوق P) . إن هذا الشرط الضروري هو أيضاً كاف . وقد بيّن بير متغلباً على صعوبات عميقة .

يقول بير عن وظائف - حدود الوظائف المستمرة أنها تشكّل الطبقة رقم 1 في الوظائف ، والطبقة صفر هي طبقة الوظائف المستمرة . إن الوظائف من الطبقة الأولى هي مجموع سلسلة متلاقية في كل حدودها هي متعدّدات حدود . الأمر الذي يردّها إلى شكل تقليدي .

إن مشتقات الوظائف المستمرة ، ومجاميع السلاسل التريغونومترية المتلاقية هي وظائف من الطبقة 1 وكذلك أيضاً (دنجوي) : إن الوظائف المستمرة تقريباً أو ذات الاستمرار الغالب ، والمشتق الشائني الجوانب الوحيد من وظيفة مستمرة . أو مشتقها التقريبي ، أو الغالب ، هي مفترضة الوجود في كل نقطة من مسافة .

وفكّك بير الاستمرارية إلى استمراريّتين نصفيتين ، الأولى عليها والآخرى سفلى ، في كل نقطة ، مع إهمال طرف أقصى من اللامعادلة المزدوجة $f(x) + \varepsilon \leq f(x) - \varepsilon$. إن الوظائف نصف المستمرة هي من الطبقة 1 . ولهذا التصوّر مدلول واسع جداً .

ويعتبر بير الوظائف القصوى في سلسلة متلاقية من الوظائف من الطبقة الأولى . وإن لم تكن من الطبقة صفر أو واحد يقال أنها من الطبقة الثانية . وتتابع هذه الفكرة بالنسبة إلى كلّ الترتيبات المتناهية أو فوق المتناهية . فالوظيفة من الطبقة α هي حدّ لسلسلة متلاقية من الوظائف من الطبقة الأدنى من α ، دون أن تكون بذاتها من طبقة أدنى من α . بعد أن خصّص أطروحته سنة 1901 لنظريته الكبيرة ، قام بير بتمييز وظائف الطبقة 2 ، ثم وظائف الطبقة 3 التي قدّم عنها مثلاً فعلاً . وفي موسكو حصلت مدام كلديش Keldych على وظائف من كلّ طبقة منتهية . ونجد فيها عبارة عن الوظائف المميزة لمجموعة أعداد يجري تطويرها ككسر مستمرّ بواسطة سلاسل من مخارج

القسم غير كاملة تتضمن أوضاعاً فريدة محدّدة . نحو 1930 ، قام لوزين Lusin بتحديد الشروط الضرورية والكافية لأن تكون إحدى الوظائف من الطبقة α ، لكل عدد α في الطبقتين I و II . بعد 1920 ، قطعت المدرسة البولونية ، عبر مذكرات عديدة وعميقة شوطاً بعيداً في دراسة وظائف بير .

إن نظرية بير التي نميز الوظائف من الطبقة I تعتبر صالحة لوظائف بعدة متغيرات . فقد بين لويبيغ Lebesgue أن الوظيفة ذات عدد n من المتغيرات x_i ومن الطبقة I بالنسبة إلى كل منها ، يمكن أن تكون من الطبقة n على المستقيم : $x_1 = x_2 = \dots = x_n$.

إذا كانت كل وظيفة مستمرة فوق قسم من خط تمكن مقاربتها إلى ما لا حد له بواسطة متعدد حدود ، فإن وظائف بير Baire من شأنها أن تظهر من خلال سلاسل مضاعفة من متعدّدات الحدود ؛ وتكون قابلة للتمثيل « تحليلياً » .

نظريات لويبيغ - في سنة 1912 عرف لويبيغ Lebesgue في أطروحته متكاملته الشهيرة . إن قياس مجموعة خطية E واقعة فوق قسم من خط (a, b) طوله $l = b - a$ حدده لويبيغ Lebesgue وكذلك بوريل Borel ، أخذاً في الاعتبار ، تضامناً مع E' ، المكمل $E \setminus E'$ على (a, b) .

ويجري تغليف عناصر E و E' ضمن نظامين من المسافات Σ و Σ' . لنفترض m_e و $m_{e'}$ الحدين الأدنى لمجموع طولي مسافات Σ و Σ' ، بالنسبة لكل الأنظمة الممكنة . يسمّى لويبيغ m_e القياس الخارجي لـ E و $m_{e'}$ قياسه الداخلي . وتصبح بعدهما E (ومعها E') قابلة للقياس وذات قياس m إذا كانت $m_e = m_{e'} = m$.

إن هذه التصورات لا تأتي بجديد بالنسبة إلى قياس بوريل Borel ولكن لويبيغ Lebesgue بين ما لم يتمكن بوريل Borel من التوصل إليه ، أي وجود مجموعات غير قابلة للقياس مثلاً عندما تكون $m_e = 1$ و $m_{e'} = 0$.

ولاحظ دنجوي Denjoy سنة 1910 أن E إذا حذف منها قسمها المشترك مع Σ' ، تصبح مجموعة مغلقة ذات قياس أعلى من $(m_e - \epsilon)$ ؛ باعتبار « ايجابية يمكن أن تفترض صغيرة من غير فرق . . .

واستنتج من ذلك أن القياس الداخلي لـ E هو الذروة في قياسات المجموعات المغلقة ، الموجودة في E ، وأن كل مجموعة قابلة للقياس هي مجموع سلسلة من المجموعات الكاملة الكثيفة بذاتها مع مجموعة ذات وزن عدم . وتستخدم طوبولوجيا الوظائف قوة من الفرضيات المترية .

وأدخل لويبيغ Lebesgue الفكرة الأساسية ، فكرة الوظيفة القابلة للقياس : تكون $f(x)$ قابلة للقياس ، مهما كان العددين A و B ($A < B$) ، إذا كانت مجموعات الأعداد x ، المحققة $A < f(x) < B$ ، قابلة للقياس . إن قياسية المجموعات $A < f(x)$ أو $A \leq f(x)$ مهما كان A أو $B < f(x)$ أو $f(x) \leq B$ ، مهما كان B ، تجر وراءها قياسية $f(x)$ منظوراً إليها على مسافة محدّدة .

إن الذروة والحضيض ، وإن أكبر أو أصغر حد ، وأن الحد الوحيد لسلسلة لا متناهية من الوظائف القابلة للقياس هي وظائف قابلة للقياس . ومن الناحية العملية ، تكون كل الوظائف تحت التحليل قابلة للقياس ، في حين أن الصفات المرتبطة بالاستمرارية تضيق في الحال بالانتقال إلى حد السلسلة . أن متكاملة Lebesgue تتحدد كما يلي : $f(x)$ وظيفة قابلة للقياس ومحددة بخلال المسافة (a, b) ، ونفترض I_1 سلسلة غير محددة من الأعداد المتزايدة ، اللامتناهية مع i ومحقة المعادلة التالية : $I_0 = 0$ و $I_1 - I_0 < W$ ، ونفترض m_i ، قياس مجموعة قيم x التي تحقق $I_i - I_{i-1} \leq f(x) < I_i$. وإذا كانت السلسلة $\sum_{i=1}^{\infty} I_i m_i$ متلاقية بالقيمة المطلقة ، فهي تنزع نحو حد I عندما تكون W (المستقلة عن i) نازعة نحو صفر ؛ باعتبار I متكاملة لوبيغ Lebesgue $\int_a^b f(x) dx$. ونفترض على التوالي $m(y)$ وفيها $y > 0$ و $m'(y)$ وفيها $y < 0$ ، قياسي مجموعات (x) المحددة بـ : $0 < y > f(x)$ و $f(x) > y > 0$. ويكون I هو الفرق بين متكاملتي ريمان Riemann وهما متكاملتا الوظائف المتناقصة بالنسبة إلى y : $\int_{-\infty}^0 m'(y) dy - \int_0^{\infty} m(y) dy$ (يونغ ، دنجوي) .

من المسموح به دمج حدًا بحد سلسلة من الوظائف القابلة للقياس محدودة نازعة نحو نهاية (لوبيغ ، Lebesgue) . ومثل هذه النتيجة العمومية تقرر عظيم تفوق متكاملة لوبيغ Lebesgue على متكاملة ريمان Riemann ، التي لم تكن معها نفس العملية متاحة إلا ضمن شروط خاصة جداً .

مهما كانت ϵ ايجابية ومعينة ، فإن كل وظيفة قابلة للجمع هي مجموع وظيفة مستمرة ووظيفة أخرى قيمتها المطلقة ذات متكامل أقل من ϵ (لوزين Lusin) .

إذا كان العدد $\lambda(x)$ المتناهي القابل للجمع موجوداً في كل نقطة من مسافة (a, b) ، وبالنسبة إلى جهة واحدة ، مشتقاً أقصى (أو أوسط ، برأي دولا فاله - بوسان - de La Vallée Poussin) من الوظيفة المستمرة $F(x)$ ، عندها تكون متكاملة لوبيغ $\int_a^b \lambda(x) dx$ مساوية لـ $F(b) - F(a)$.

لقد درس دولا فاله - بوسان زائدات ونقصات $F(x)$ ، أي وظائف $B(x)$ و $A(x)$ حينما يكون المشتق الأدنى من A أعلى أو مساوياً لـ $\lambda(x)$ وحينما يكون المشتق الأعلى من B أدنى أو مساوياً لـ $\lambda(x)$.

وقرر لوبيغ هذه القاعدة الرئيسية : إذا كان $f(x)$ قابلاً للجمع فوق المسافة (a, b) ، فإن المتكاملة $\int_a^b f(x) dx$ هي وظيفة مستمرة تفترض $f(x)$ كمشتق في كل نقطة ، إلا في حالة مجموعة ذات قياس باطل .

دراسات مرتبطة - قدم دنجوي علاقات بين المجاميع المتداخلة في تعريف متكاملة ريمان ذات الوظيفة $f(x)$ حول مسافة (a, b) ومتكاملة لوبيغ $\int_a^b f(x) dx$. إذا كانت $f(x)$ قابلة للجمع .

إن المشتق $f(x)$ من الوظيفة المستمرة $F(x)$ ليس بالضرورة قابلاً للجمع . إن المجموع $g(x)$ من سلسلة تريغونومترية متلاقية ، لا يكون ، بوجه العموم ، قابلاً للجمع ، ولكنه المشتق الثاني المعمم من وظيفة مستمرة $G(x)$ ليست دائماً مشتقاً أول مستمراً .

إن متكاملة لوبيغ لا تكفي في كل الحالات لحل مسألة العثور على بدئية مشتق معين ، ولا على معاملات السلسلة التريغونومترية لوظيفة معينة . وينوجب على التكامل المتغلب على هذه المضاعب أن يكون أقوى من تكامل لوبيغ ، مع امتزاجه به ، في الحالة التي تكون فيها الوظائف السالبة التكامل قابلة للجمع . هذه النتيجة حصلت بفضل اكتشاف دنجوي في سنة 1912 « للتجميع » (Totalisation) الذي أتاح العودة من المشتق إلى الوظيفة . ولاحظ مونتيل Monte! أن نفس العملية تتيح دمج الأعداد المشتقة القصوى المفترضة كلها أنها نهائية في كل نقطة من (a, b) .

ولدرس هذه المواضيع بشكل أعمق ، طور دنجوي نظرية حول الاشتقاق من الدرجة الأولى ، بواسطة اعتبارات تارة وصفية ، وتارة مترية وحصل على النتائج التالية :

إن الأعداد الأربعة المشتقة القصوى في وظيفة مستمرة تتجمع ، إذا أهملنا الأحداث المعثور عليها في مجموعات ذات قياس باطل ، وفقاً لأربعة أشكال ممكنة . إن مشتقين أقصىين من نفس الجهة يوصفان بأنهما « مشتركان » وإن مشتقين من جهة ومن مرتبة مختلفين يقال أنهما « متعارضان » ، وإن مشتقين مشتركين إما أن يكونا معاً متناهيين أو متساويين أو غير متساويين إذا كان أحدهما على الأقل لا متناهياً . والمشتقان المتعارضان يكونان متناهيين ومتساويين أو غير متناهيين وغير متساويين .

وأدخل دنجوي التجميع (Totalisation) الكامل والتجميع البسيط . وأدى الأول إلى المشتق البسيط ، والثاني إلى المشتق التقريبي ، وهو مفهوم عثر عليه كنتشين (1916) Khintchine منفرداً .

هناك تمازج بين المجاميع البسيطة غير المحددة والوظائف القابلة للحل . فالوظيفة تكون حلولية إذا كان تغيرها ، فوق كل مجموعة كاملة وخفيفة ، يداني الصفر . فكل وظيفة حلولية تمتلك مشتقاً تقريبياً تكون هي مجموع غير المحدد .

وتكون حلولية الوظائف المزودة ، في كل نقطة ، بمشتق أقصى محدد ، أو بمشتق صحيح أو تقريبي متناهِ ؛ أو (بصورة أدق) تمتلك مشتقاً متناهياً ذا جهة لا تتغير فوق سماكة تفوق $1/2$ ؛ وكذلك تكون حلولية الوظائف التي تمتلك مشتقاً ثانياً معمماً ومتناهياً ، إلخ .

وقدم دنجوي ، في سنة 1921 ، أسلوب الدمج الذي يتيح حساب صيغ فورييه Fourier . منذ 1913 ، كان نشر أمثلة شديدة العمومية عن مشتقات محدودة تتخذ الاشارات في كل مسافة وتمتلك السمة المسماة ذات الاستمرارية التقريبية .

مواضيع أخرى - أن التجميع الاصطلاحي للسلاسل المتنافرة كان قد ابتدعه سيزارو

Cesaro . وبين فيجير Fejer أن سلسلة فورييه Fourier المؤلفة من كل وظيفة مستمرة تتلاقى في أول مجموع عند سيزارو ، ووسع بوريل كثيراً قوة هذه الوسائل وطبقها على امتداد السلاسل الكاملة المعقدة خارج دائرة تلاقيها . ومنذ ذلك الحين ، ابتكر العديد من الرياضيين وسائل تجميع شديدة التنوع ، ودرسوا بالتفصيل خصائصها ، (رايز M. Riesz ، ميتاغ - ليفلير Mittag - Leffler ، ونوبليتز O. Töplitz ، الخ) ، خاصة بطرق التحليل الوظيفي (باناخ ومدرسته) .

وبواسطة طرق مأخوذة عن نظرية وظائف المتغيرات المعقدة ، حصل بوريل سنة 1912 على طبقات الوظائف الحقيقية ، فوصفها بأنها شبه تحليلية ، وتمتلك خاصية أنها تكون محددة فوق كل مسافة وجودها بواسطة معرفة قيمها وقيم كل مشتقاتها في نقطة واحدة ، حتى ولو كانت سلسلة تايلور Taylor حول الوظيفة ذات شعاع تلاق معدوم ، في هذه النقطة وحتى في كل نقطة . وقد قدم دنجوري في سنة 1921 ، تفسيراً لهذه الخصوصية في وظائف بوريل Borel . إن دراسة هذه الوظائف قد لوحقت وعمقت من قبل رياضيين عديدين (كولموغوروف Kolomogorov ، ماندلبرويت Mandelbrojt و كارلمان Carleman و كارتان H. Cartan) .

إن متكاملة ستيليجس Stieltjes قد بانت أهميتها عندما قرر رايز F. Riesz أن كل موظفة Fonctionnelle خطية هي متكاملة من متكاملات ستيليجس : $E(f)$ ، الموظفة الخطية المستمرة والمتحددة ضمن الفضاء H المتكون من الوظائف المستمرة ، فوق مسافة مكثفة (a, b) هي متكاملة من متكاملات ستيليجس :

$$E(f) = \int_a^b f(x) d\omega(x) \quad \text{حيث تكون } \omega \text{ وظيفة ذات تغير كامل متناوٍ في } (a, b) .$$

والقول أن الموظفة $E(f)$ المحددة في H هي خطية ومستمرة يعني أنه من جهة ، وبالنسبة إلى f_1 و f_2 في H ، حيث k_1 و k_2 ثابتان ، تكون : $E(k_1 f_1 + k_2 f_2) = k_1 E(f_1) + k_2 E(f_2)$ ومن جهة أخرى أنه ، بالنسبة إلى كل الوظائف f في H بحيث يكون : $(f(x) \leq 1)$ في (a, b) ، مجموعة $E(f)$ هي مجموعة محدودة .

إن دراسة السلاسل التريغونومترية ، وبصورة أعم دراسة سلاسل الوظائف المتعامدة قد أعطت نتائج مهمة بفضل : لوزين Lusin ومنتشوف Menchov وكولموغوروف Kolmogorov . وبذات الوقت أوجد بوهر H. Bohr نظرية الوظائف شبه الدورية .

إن $f(x)$ تنتمي إلى هذا النوع إذا كان يوجد سلسلتان I_n متنامية بشكل لا متناوٍ و ϵ_n متنازلة حتى الصفر ، ولكل عدد صحيح p ، $\lambda_{n,p}$ محققة $\lambda_{n,p} < (p+1)I_n$ بحيث يكون $f(x + \lambda_{n,p}) - f(x) < \epsilon_n$ بصورة مستقلة عن x .

هذه الفكرة قد تعممت أكثر بكثير فيما بعد خاصة من قبل بيسيكوفيتش Besicovich وستيبانوف Stepanov وويل H. Weyl ، وأدخلت الفكرة القريبة عن الوظيفة المتوسطة الدورية بفضل دلسارتي J. Delsarte ، ودرسها بنفسه مع شوارتز L. Schwartz . وامتدت هاتان الفكرتان إلى وظائف العديد من المتغيرات الحقيقية وحتى إلى وظائف محددة فوق مساحات عمومية جداً ؛

وهي ترتبط تماماً بالنظرية الحديثة حول الزمر المكثفة والمكثفة محلياً .

وأخيراً أن قاعدة فايرستراس Weierstrass حول التقريب المتناسق في وظيفة مستمرة بفضل متعدّدات حدود قد أثارت العديد من الأعمال التي تتناول سرعة التقريب (Vallée - Poussin و بيرنشتاين S.Bernstein ومدرسته ، الخ .) ، أو تتناول قواعد تقريب مشابهة بواصفة وظائف أخرى (مندلبرويت Mandelbrojt و بيرنشتاين) .

الفصل الرابع

وظائف المتغيرات المعقدة

تعاريف - عرف القرن التاسع عشر ، بفضل كوشي Cauchy وريمان Riemann وفايرستراس Weierstrass وبوانكاريه Poincaré ، ازدهار نظرية وظائف المتغيرات المعقدة . وعرفت هذه النظرية ، في النصف الأول من القرن العشرين مظهراً جديداً وقوياً ، وسارت في طرق وسبل كثيرة متنوعة ، وقد استفادت من عمل تنقية المفاهيم الرياضية التي تطورت بشكل أوسع ، مخلصاً الأحكام من الفرضيات الطفيلية التي تسهل التبيين ، دون أن تكون لازمة لدقتها .

ويقال أن وظيفة المتغير المعقد هي وحيدة السلالة (Monogène ، مونوجينية) في مجال ما إذا كانت تقبل مشتقاً في كل نقطة داخلية ، مهما كان الطريق المتبع من قبل نقطة مجاورة آتية لتختلط بالأولى (Cauchy) . ويقال أن الوظيفة هي « تحليلية » ، إذا كانت - حول كل نقطة - قابلة للممثل بسلسلة كاملة من المتغير (ميراي Meray وفايرستراس Weierstrass) . بين E. Borel إن هذه التعاريف ليس متعادلة : إن طبقة الوظائف المونوجينية هي أوسع من طبقة الوظائف التحليلية . إن وظيفة المتغير المعقد تكون هولومورفية (تحليلية) في مجال ما إذا كان متكاملها المأخوذ على طول محيط مغلق معدوماً . وتسمى متعددة الجوانب (multivalente) من المرتبة p إذا اتخذت عدة مرات (p مرة) ، على الأكثر ، كلا من قيمها ، واتخذت فعلاً عدة مرات (p مرة) إحدى هذه القيم . وعندما تكون p مساوية لواحد ($p = 1$) تكون الوظيفة وحيدة الجانب (مونتل P. Montel) . ويبن مارتى F. Marty أن مجال أية وظيفة تحليلية متعددة الجوانب يمكن أن يقسم إلى خلايا وحيدة الجانب .

وتعطي الوظيفة التحليلية الوحيدة الجانب ، في مجال ما « تمثيلاً منسجماً » لهذا المجال في إطار المتغير فوق مجال من إطار ممثل لقيم الوظائف . هذا التطابق المزدوج (biunivoque) يحفظ بالزوايا ، ويحتفظ ، في كل نقطة ، بعلاقة أطول قوسين متناهيي الصغر منطلقين من هذه النقطة .

لنأخذ المعادلة : $f(z) = u(x, y) + iv(x, y)$ ، $z = x + iy$ ، وفيها تدل u و v على وظيفتين

حقيقتين للمتغيرتين الحقيقيتين x, y . فإذا كانت الوظيفة مونوجينية عند z ، نحصل على العلاقات :

$$\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

والعكس ليس صحيحاً . وبين منشوف Menchov أن هذا العكس يحصل إذا كانت الوظيفة $f(z)$ تقبل المشتقات المنتهية في x وفي y وتمتلك متفاضلة كاملة ، متفاضلة ستولتز - فريشه Stoltz - Fréchet خاصة إذا كانت المشتقات مستمرة .

بين غورسا Goursat إن الوظيفة المونوجينية في كل نقطة من مجال تكون هولومورفية (تحليلية) في هذا المجال : وأضاف بومبيو Pompeiu أنه ، إذا كانت $f(z)$ مستمرة ، فيكفي أن تكون الوظيفة مونوجينية ، إلا ربما ، في مجمل قابل لتعداد النقاط [محدود النقاط] .

وافترض لومان Loomann فقط أن $f(z)$ مستمرة وتحقق شروط (1) ، وافترض منشوف إمكانية وجود مجموعة قابلة للتعداد استثنائية . كما افترض مونتل Montel $f(z)$ محدودة وشروط (1) متحققة في كل مكان تقريباً .

وقد تم الاقتراح بقصر شروط المونوجينية في نقطة واحدة . وبين مونتل أنه يكفي أن يكون لـ $f(z)$ نفس المشتق تبعاً لاتجاهين قائمين ثابتين . وبين منشوف فيما بعد أن الاتجاهات يمكن أن تشكل زاوية متغيرة . وأنه قد توجد مجموعة قابلة للتعداد استثنائية .

إن وجود مشتق ، في نقطة ما ، أي وجود حد بالنسبة إلى القسمة $\frac{\Delta f}{\Delta z}$ بين تزايدات الوظيفة والمتغير عندما ينزع التزايد الأخير بصورة تحكيمية ، نحو الصفر ، يعود إلى الافتراض أن لكل من $\left| \frac{\Delta f}{\Delta z} \right|$ وسعة $\frac{\Delta f}{\Delta z}$ ، حداً ضمن نفس الشروط . والحالة التي يتم التأكيد فيها فقط من وجود أحد هذين الحدين ، كانت موضوع بحوث من قبل بوهر H. Bohr ومنشوف D. Menchov ورادمتشر M. Rademacher وفيدوروف Y. Fedorov .

إننا سنفترض فيما بعد وجود نفس الحد ، أما في كل الاتجاهات ، وأما في ثلاثة اتجاهات . وعندما نحصل على النتائج التالية : تكون $f(z)$ مونوجينية إذا قبلت تفاضلية شاملة من تفاضليات ستولتز - فريشه Stoltz - Fréchet وإذا كانت سعة $\frac{\Delta f}{\Delta z}$ تحقق الشرط المذكور أعلاه . وتكون $f(z)$ مونوجينية أو متزوجة مع وظيفة مونوجينية إذا حققت $\left| \frac{\Delta f}{\Delta z} \right|$ الشرط المذكور أعلاه . ونحصل على نفس النتائج إذا افترضنا أن $f(z)$ هي مستمرة ووحيدة الطرف وإن الشروط المفروضة على السعة أو على المعيار module متحققة إلا فيما خص النقاط في مجموعة معدودة .

إن مفهوم المونوجينية قد توسع بإدخال المشتق المساحي (في سنة 1912 من قبل بومبيو Pompeiu) . إن هذا المشتق ، المرموز إليه بالرمز $\frac{Df}{D\omega}$ ، هو مزيج خطي من التعابير

الموجودة في الشروط (1). ولدنيا ، بالتعريف :

$$\frac{Df}{D\omega} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} + i \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$$

ولدنيا أيضاً : $\frac{Df}{D\omega} = \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{\int_{\omega} f(z) dz}{\omega}$ عندما يكون المجال ω المحدود بإطار C ، مقصوراً على النقطة موضع الدراسة .

إن الوظائف ذات المشتق المساحي المعلوم ، تكون مونوجينية ؛ وهي تلعب هنا نفس دور الثوابت بالنسبة إلى المشتق العادي . أما الأخريات فتسمى بوليغينية (متعددة الأصل) . وبالنسبة إلى الوظائف التي تقبل بمشتق احتمالي ، قرر بومبيو D. Pompeiu صيفاً مشابهة لصيغ كوشي Cauchy ، بالنسبة إلى الوظائف التحليلية .

لقد درست الوظائف البوليغينية أولاً من قبل كاسنر M. Kasner ثم من قبل هاياشي T. Hayashi وبورغاتي P. Burgatti ، وفتح المجال ، ابتداء من 1930 ، أمام العديد من البحوث ، خاصة داخل المدرسة الرومية Roumaine . وادخل تيودورسكو N. Teodorescu الوظائف المونوجينية (α) ، وعندما يكون المشتق الاحتمالي مستمراً ، أدخل أيضاً الوظائف التحليلية (α) . وهناك أعمال أخرى تعزى إلى غريفيث Griffith وإيفانس Evans وتونولو A. Tonolo ومارتينيلي E. Martinelli وفينييه J. Vignaux وكوتلار M. Cotlar وبور V. C. Poor وريدر J. Ridder وبولانتيك F. Pollaczek وفيدوروف V. S. Fedorov وفيكوس N. Vekus . وتم إدخال المعادلات التفاضلية المساحية ، متعددة الحدود المساحية مع توسعات ، حالياً ، في الفضاءات ذات الأبعاد المتعددة (بويارسكي B. V. Bojarski واليانا I. Eliana) . وتُعد تطبيقات هذه المفاهيم بالفيزياء الرياضية ، وبخاصة المطاطية والهيدروديناميك .

إن الوظيفة المونوجينية تفترض أيضاً بدئية في مجال وجودها لأن تكاملية هذه الوظيفة المأخوذة على طول قوس من منحني منطلق من نقطة ثابتة في هذا المجال هي ذات قيمة مستقلة عن الطريق المتبع ، لأنه سندا لقاعدة كوشي ، تكون التكاملية المأخوذة على طول اطار مغلق معدومة . وينتج عن ذلك أن قيم الوظيفة في مجال داخلي من مجال وجودها ، تتحدد بمعرفة هذه القيم حول إطار هذا المجال . ولم يعد الأمر بمثل هذا بالنسبة إلى الوظائف التي تقبل بمشتق مساحي غير معدوم لأن معادلات بومبيو D. Pompeiu تُدخل قيم هذا المشتق داخل المجال .

التحليلية - إذا مثلنا المتغير المعقد بنقطة على سطح مسنود إلى محورين قائمين ، تعمل وظيفة تحليلية $Z = f(z)$ على مطابقة كل نقطة z من مجال (d) من السطح z ، مع نقطة Z من مجال (D) في السطح Z . وإذا تطابقت ، مع قيمة a من المتغير ، القيمة اللامتناهية من Z ، تسمى النقطة a قطب الوظيفة $f(z)$. وإذا قبلت وظيفة تحليلية في مجال (d) أقطاباً ، توصف بأنها جزئية التشكل في (d) ، إن الوظيفة التحليلية لا تأخذ إلا قيماً متناهية . والأولى والأخرى يقال أنهما منتظمتان في (d) .

كان القطب يعتبر في بادئ الأمر كأنه نقطة فريدة في الوظيفة . ويعتبر في الوقت الحاضر

كنقطة عادية . ويكفي فيه اجراء تحويل هوموغرافي (موبيوس) بالوظيفة ، بأخذ عكسه مثلاً ، للعثور على قيمة متناهية .

ونرى في السطح المعقد ، أن القيمة اللامتناهية تتطابق مع نقطة واحدة في حين تشكل النقاط اللامتناهية خطاً مستقيماً ، ضمن السطح الاسقاطي .

وتتضح بسهولة هذه الخصوصية ، بواسطة اسقاط مجسماتي . وانطلاقاً من نقطة O' في الفضاء واقعة على العمودي فوق سطح ذي أصل O وعلى البعد 1 ، إذا غيرنا السطح بقلب للمركز O' وبقوة 1 ، نحصل على سطح كرة قطرها OO' . إن النقطة اللامتناهية من السطح تتوافق مع النقطة O' من الكرة . نستبدل السطحين المعقدين z و Z بكرتيهما الريمانيتين . (نسبة إلى ريمان) ؛ عندها تطابق المعادلة $Z = f(z)$ ، كل نقطة من النطاق الكروي (δ) لأحرف z الصغرى ، مع نقطة من المجال الكروي (Δ) لأحرف Z الكبرى .

إن المشتق الكروي لـ $f(z)$ ، الذي أدخله مارتني F. Marty ، يحدد كانه منتهى علاقة أطوال قوسين لا متناهيي الصغر متطابقين مرسومين فوق كرتين .

$$\text{هذا المشتق } \Delta f \text{ يرمز إليه بـ : } \frac{1 + |z|^2}{|f'(z)|^2} \quad |f'(z)|^2$$

إن قيمته لا تتغير في نقطتين متقابلتين قطرياً في كرة أحرف z الصغرى المتوافقة مع قيم z و $1/z$ أو Z و $-1/Z$. إن المشتق الكروي له دوماً قيمة متناهية ، ايجابية أو معدومة .

لقد اعتبرنا ، حتى الآن ، وظائف تحليلية لها في كل نقطة قيمة وحيدة : إن مثل هذه الوظيفة تسمى وحيدة الشكل . وإذا تطابقت ، مع كل قيمة من قيم z عدة قيم من $f(z)$ ، بعدد متناهي أو لا متناهي ، كما هو الحال بالنسبة إلى Z ، باعتبار m غير صحيح أو لوغاريتم z ، عندها يقال أن الوظيفة متعددة الأشكال . عندها نستعمل ، لتمثيل قيم z ، سطح ريمان Riemann ، المكون من وريقات مسطحة متراكمة أو كرة ريمان Riemann المكونة من وريقات كروية متراكمة .

نقاط فريدة - تسمى النقطة ، حيث تكون الوظيفة $f(z)$ غير مونوجينية ، نقطة فريدة أساسية . إنها معزولة ، ضمن دائرة صغيرة نوعاً ما مركزها هذه النقطة ، ولا توجد نقاط فريدة أخرى . وإلا فهي تنتمي إلى مجموعة من النقاط المفردة . إن هذه المجموعة تكون مغلقة لأنه ، لكون النقطة المنتظمة محاطة بنقاط منتظمة ، فإن كل نقطة حد للنقاط المفردة ، تكون مفردة .

وجود مجمل من النقاط المفردة يتناسب مع استمرارية الوظيفة . وقد بنى بومبيو D. Pompeiu وظيفة مستمرة تقبل بمجمل كامل غير مستمر من النقاط المفردة . إن النقاط المفردة قد تشكل خطوطاً ، تسمى خطوطاً مفردة ، أو مناطق تسمى فضاءات فجوية . إن حالة النقطة المفردة الأساسية المعزولة قد أفسحت المجال أمام مجمل ضخم من البحوث . وقد بين فايرستراس Weierstrass أنه ، في جوار مثل هذه النقطة ، تتخذ الوظيفة قيماً قريبة قدر ما نشاء من أية قيمة . واكتشف بيكارد Emile Picard ، سنة 1879 ، قاعدة شهيرة كانت مصدر نتائج ضخمة ؛ في جوار

نقطة أساسية معزولة ، تتخذ الوظيفة عدداً لا يحد من المرات كل قيمة باستثناء قيمتين على الأكثر . أن تبين بيكارد يركز على استعمال وظيفة تجاوزية هي الوظيفة النسقية . قدم بورل سنة 1896 تبييناً ذا صفة أولية . وإذا قد توجد قيمة أو قيمتان ، لا تتخذهما الوظيفة حول النقطة الأساسية : فتسمى ذات « قيم استثنائية » . وقد اهتم أناستاسياديس Anastassiadis بتحديد شروط وجود قيمة استثنائية وتحديد شروط حساب هذه القيمة في حالة الوظائف الكاملة من النوع المتناهي (1958) .

وقد وسع مونتل P. Montel قاعدة بيكارد فاشملها حالات أكثر عمومية . إن وجود قيمة استثنائية (n) يمكن أن يفسر بالواقعة أن المنحني $W = f(z)$ لا يلتقي المستقيم $w = a$. إن قاعدة Picard تفيد أنه ، حول نقطة أساسية ، هذا المنحني يلتقي بالضرورة عدداً لا متناهياً من المرات نظاماً من ثلاثة متوازيات مستقيمة . ويبين مونتل Montel إن هذا النظام يمكن أن يستبدل بمكعبة أو بكل منحني جبري ، فيه على الأقل ثلاثة فروع متميزة ، وفي عهد أقرب تم إدخال عناصر جديدة استثنائية .

إذا انتهى منحني ما بنقطة أساسية ، فقد يحدث أن تتخذ الوظيفة فوق هذا المنحني قيماً ذات حدٍ وحيدٍ . هذه القيمة تسمى القيمة المقاربة . أن كل قيمة استثنائية هي أيضاً مقاربة . أن القيم المقاربة قد درسها ألفورس L. Ahlfors و دنجوي A. Denjoy وفاليريون G. Valiron . إن قاعدة بيكارد ، في حالة الوظيفة المنتظمة في السطح ، تعادل استحالة المعادلة $P + Q + R = 0$ باعتبار أن P, Q, R تدل على وظائف كاملة غير مزودة بأصفار (بوريل E. Borel) .

وهناك أعمال مهمة - في الحالة العامة ، حالة المعادلة من نفس الطبيعة ، ذات مطلق عدد من الوظائف - تعزى إلى بلوك A. Bloch وهـ . كارتان H. Cartan .

إن العمليات المعتادة في الجبر وفي التحليل تحتفظ بالمونوجينية وبالتحليلية . وبشكل خاص بالتلاقي المنتسق . لقد تمّ درس الشروط التي تؤدي إلى هذا التلاقي : تلاقٍ في عدد غير محدود من النقاط في المجال أو عند تخمه .

إن التلاقي البسيط يؤدي إلى حدٍ أقصى تكون سناطق تحليليته كثيفة في كل مكان . وقد بين لويبيغ H. Lebesgue إن كل وظيفة مستمرة من المتغير z يمكن الحصول عليها بفضل سلسلة مزدوجة من الوظائف التحليلية .

الوظائف الكاملة أو جزئية الشكل - إن حالة الوظيفة المحددة في كل السطح ، ولائتمتلك إلا نقطة أساسية واحدة قد درست بعمق . ويمكن الافتراض دائماً بأن النقطة الفريدة موجودة في اللانهاية ، وعندها نحصل على وظيفة جزئية الشكل في كل السطح ، أو - إذا لم تقبل القطب - على وظيفة كاملة .

والوظيفة الكاملة يمكن تمثيلها في كل السطح بسلسلة كاملة من المتغير z . وفي الدائرة $|z| < r$ ، يكون معيار هذه الوظيفة ذا ذروة M(r) تتزايد مع تزايد r .

وتكون الوظيفة الكاملة قابلة أيضاً للتمثيل بحصيلة لا محدودة كل عامل فيها يعطي صفرًا عن الوظيفة . هذه الحصيلة تتيح ادخال مفهوم النوع . فالنوع قد يكون متناهياً أو لا متناهياً (فايرستراس Weierstrass) .

إن الوظيفة $M(r)$ تؤدي إلى فكرة « النمو » التي تتعلق بالسرعة التي بها تقترب الوظيفة من اللانهاية ، هكذا أدخلت فكرة نظام النمو أو « نظام » الوظيفة الكاملة ، وهي فكرة توضح فكرة النوع . فالنظام قد يكون متناهياً أو غير متناهٍ . والأعمال الأساسية حول هذه الأفكار تعود إلى بوانكاريه وإلى هدامارد J. Hadamard وبيوريل E. Borel وفاليرون G. Valiron وبلومثال Blumenthal .

والوظيفة جزئية التشكل في كل السطح تبدو وكأنها حصيلة وظيفتين كاملتين ، أو كنتيجة حاصلية ضرب لا متناهيين . إن مفاهيم النوع والنظام تمتد بسهولة لتشمل هذه الوظائف . وهناك وظائف تحتوي على عدد محدد من النقاط الأساسية في السطح قد درست من قبل مانييه Mailliet ، وخاصة الوظائف المسماة « شبه كاملة » .

وإن نحن رتبنا بترتيب الضخامة غير المتنازلة معايير (r_n) أصفار الدالة $(f(z) \dots n)$ ، فدراسة سلاسل الحد العام $(1/r_n \alpha)$ تقدم خدمات كبرى . وفي حالة وظيفة كاملة من عيار p ، تتلاقى السلسلة عند $(\alpha = p + \varepsilon)$ مهما كان العدد الإيجابي ε صغيراً وتتفرق عند $(\alpha = p - \varepsilon)$ ، ما عدا الحالة التي تكون فيها قيمة a وحيدة إذا كان p عدداً كاملاً . ويسمى العدد p منقل التلاقي أو عامل التلاقي ؛ وهو واحد مهما كانت قيمة a ، باستثناء - ربما - حالة تكون فيها قيمة a وحيدة تسمى قيمة بوريل Borel الاستثنائية . هذا المفهوم يوسع مفهوم قيمة بيكار Picard الاستثنائية . أن قاعدة بيكار وقاعدة بوريل تشكلان التوسيع الكامل لقاعدة دالمبير D'Alembert بالنسبة إلى متعددات الحدود ، هذه القاعدة التي تدل على أن متعدد الحدود يتخذ كل قيمة متناهية وإن كل قيمة تتخذ عدداً من المرات يساوي درجة متعدد الحدود .

إن نظرية الوظائف الكاملة جزئية التشكل أصبحت أكثر عمقاً بفضل أعمال نيفانلينا R. Nevanlinna . فقد أدخل وظيفة مميزة $(T(r))$ تلعب بالنسبة إلى وظيفة كاملة نفس دور لوغاريتم $M(r)$ ، وتبقى ، بالنسبة إلى وظيفة جزئية التشكل ، متناهية ومتزايدة في حين أن $M(r)$ تصبح لا متناهية . أن نتائج R. Nevanlinna تدل على وجود توازن بين معايير النقاط حيث $f(z)$ تتخذ القيمة a والمعايير حيث $f(z)$ تكون ذات قيمة قريبة من a ، بين كثافة نقاط بيكار ، ومجموعة نقاط فايرستراس Weierstrass .

وهكذا دخل مفهوم « النقص » الذي يقيس بدقة ندرة أصفار $(f(z) - a)$ ، والنقص يعادل واحداً ، بالنسبة إلى قيم بيكار Picard الاستثنائية . وعلى العموم إن مجموع كل النواقص الممكنة لا يمكن أن يتجاوز (2) ، ومجموعة القيم التي يكون نقصها غير معدوم تكون متناهية أو قابلة للعداد .

وهناك وظائف ذات عدد متناهٍ عشوائي من القيم الاستثنائية عند نيفانlinna Nevanlinna إلا أنه ليس عدداً لا متناهياً .

لقد طوعت التعابير التي أدخلها نيفانlinna Nevanlinna باستبدال المسافة العامودية في السطح المعقد بالمسافة الكروية فوق كرة ريمان Riemann (باغاناس Baganas ودوفرينو Dufresnoy) . ويرتبط الشكل الجديد بمساحة السطح المغطى فوق الكرة بصورة $f(z)$ المتوافقة مع نقاط الدائرة $z = re^{i\theta}$ (شيميزو Shimizu) . وعاد ألفورس L. Ahlfors إلى هذه الدراسة بفحص بنية سطح ريمان Riemann حول الكرة وسماء سطح التغطية : وهي نظرية تركز على أساس طوبولوجي مقرون بمقياس متري فيه تبدو نتائج R. Nevanlinna كحالات خاصة من حالات الفورس Ahlfors . وقد توضحت دراسة النمو بدراسة نظام النمو في زاوية أو فوق نصف خط مستقيم . ويؤدي هذا الخط إلى مشيرة ترتبط بمضلعات تجميعية بوريل Borel في وظيفة مقرونة مختارة بشكل مناسب .

إن هذه المسائل ترتبط بوجود قيم مقاربة . وليس من المعلوم إذا كان الحال كذلك بالنسبة إلى قيم نيفانlinna Nevanlinna .

وقد أطلق دنجوي A. Denjoy التأكيد بأن العدد الأقصى من القيم المقاربة ، في وظيفة من نوع p هو $(2p + 1)$ وقد أثبت ألفورس L. Ahlfors هذا التأكيد .

وبالنسبة إلى وظيفة من مرتبة غير متناهية ، قد يكون مجمل القيم المقاربة لا متناهياً . فقد تكون له قوة المستمر وحتى قد يتضمن كل قيم السطح المعقد .

الأسر الطبيعية - إن دراسة جماعات الوظائف قد تابعت منذ نصف قرن . المجموعة اللامتناهية من النقاط تقبل دائماً نقطة تراكم ، وهذه الخصوصية ، التي قررها كانتور Cantor ، هي في أساس تبينات عدد خصائص وظائف النقاط . أن المجموعة اللامتناهية من الوظائف لا تقبل بالضرورة وظيفة تراكم : إن وجودها يسهل تبينات الحساب الوظيفي الذي تشكل عناصره من المخطوط والمساحات .

ومن أجل سد هذا الاحتياج أوجد مونتل Paul Montel سنة 1912 نظرية الأسر الطبيعية ، على أثر بحوث آوزيلا Arzela وأسكولي Ascoli حول الاستمرارية المتساوية ، وعلى أثر الدراسات المباشرة التي قام بها آرزولا وهيلبرت Hilbert ولويغ Lebesgue حول مسائل ديريكليه Dirichlet وبلاتو Plateau . إن هذه النظرية قد أوجدت من أجل الحصول على معايير تتيج التأكيد بأن كل متتابعة لا متناهية من وظائف عائلة ما ، تقبل وظيفة تراكم عن طريق التلاقي الوحيد الشكل : إن مثل هذه العائلة تسمى طبيعية . وقد بدت هذه النظرية خصبة خارج الحساب الوظيفي الذي أولدها لأن الوظائف في عائلة طبيعية تجمع بنوع من التضامن يترجم بخصائص مشتركة ، خاصة بالنسبة إلى وظائف المتغيرات المعقدة ، وانبثقت قواعد تحليل - مستخلصة من فرضيات خاصة - من الطبيعية وحدها حقاً .

والطبيعية Normalité هي خصوصية محلية . فإذا كان لها وجود في مجال ، فإن وجودها يكون حتماً في كل نقطة منه ، أي ضمن دائرة ضيقة تضم هذه النقطة داخلها وبالعكس . وإذا ، إذا لم تكن عائلة طبيعية في مجال ما ، فإن هذا يتضمن تقاطعاً لا وجود للعائلة الطبيعية فيها . مثل هذه النقطة ، تسمى غير منتظمة ، وتسمى بأنها نقطة مفردة جماعية . وقام أستروسكي M. Ostrowski بدراسة معمقة حول هذا كما درس تولين Thullen وكارتان H. Cartan وجوليا G. Julia ، ومندلبرويت S. Mandelbrojt وساكرس W. Saxer بنية مجموعة هذه النقاط وعلاقاتها مع مجموعة النقاط المفردة في وظيفة وحيدة .

والعائلات الأولى التي درست كانت عائلات الوظائف المحدودة في مجملها ، الوظائف ذات الفضاءات أو الخطوط الناقصة (الفجوية) ، وظائف ذات ثلاث قيم استثنائية . وهذه العائلة الأخيرة تمتلك خصائص كلاسيكية متركزة على قواعد بيكار ولاندو Landau وشونكي Schottky والتي تشكل حلقة بيكار Picard . إن كل عائلة طبيعية من وظائف متغير محدد تولد حلقة مماثلة .

وتؤدي حلقة بيكار إلى تصنيف للوظائف التحليلية النظامية : وظائف بدون قيمة استثنائية ؛ وظائف تفترض قيمة استثنائية (الوظائف الهولومورفية) ؛ وظائف ذات قيمتين استثنائيتين (وظائف هولومورفية ذات لوغاريتم هولومورفي) ؛ وظائف ذات ثلاث قيم استثنائية ، تشكل عائلة طبيعية .

ويبين هس Hess إن كل عائلة من الوظائف النظامية هي مجموع عدد متناهٍ أو قابل للعد من العائلات الطبيعية .

واستعمل كاراثيودوري Carathéodory كرة ريمان ، وادخل الاستمرارية المتساوية الكروية « والتتالي المستمر » وحصل مارتى F. Marty على معيار استمرارية وذلك بتحديد المشتق الكروي . واستبدل ب . مونتل القيم الاستثنائية بمنحن جبري ذي ثلاث شعب متميزة ليس بينها أية نقطة مشتركة مع وظائف العائلة . وحل أيضاً محل الفضاء الناقص (الفجوي) تحديداً للسطح المغلف فوق كرة ريمان .

واهتمت مجموعة أخرى من البحوث بدور القيم الاستثنائية التي لوظيفة ولأحد مشتقاتها أو بمزيج من الوظيفة ومشتقاتها ، ومن هنا تستنتج ضوابط الطبيعة . وهذه البحوث تعود إلى يورو F. Bureau وإلى ميراندا Miranda وفاليريون Valiron وميويو Milloux وهيونغ Hiong وتشني تاي شوانغ Chi tai Chuang وهايمن W.K. Hayman .

وادخل مونتل أيضاً العائلات شبه الطبيعية من عيار p والتي تتضمن p من النقاط غير المنتظمة على الأكثر ويبين أن الوظائف الوحيدة القيمة أو المتعددة القيم من عيار محدود تشكل مثل هذه العائلات . وكذلك الأمر بالنسبة إلى الوظائف الملاقية عدداً من المرات لكرة ريمان . ودرس و . ساكرس W. Saxer نقاطها غير المنتظمة . ومن بين التطبيقات الأولى للنظرية ، واحدة تتعلق بتتالي سلسلة من وظائف العائلة التي تكون متسقة منذ أن تلقي السلسلة في عدد لا متناهٍ من النقاط الداخلة تماماً في المجال . وهكذا نجد قواعد فيتالي Vitali لاندرو وكاراثيودوري . ودرس

هارتوغس Hartogs وروزنتال مجموعة النقاط غير المنتظمة في التلاقي البسيط . وهناك تطبيق آخر يتعلق بالتكرار وأتاح الانتقال من الدراسة المحلية المعزوة بصورة رئيسية إلى كونيغس G. Koenigs وإلى ليو Leau إلى الدراسة الشاملة التي قام بها فاتو Fatou ولاتيس Latés وجوليا .

وأخيراً هناك تطبيق مهم أتاح براهين أصفار الوظائف كاملة أو جزئية التشكل في السطح بواسطة طريق التجزئة التي قام بها مونتل والذي استبدل الوظيفة التي يجب درسها بسلسلة من الوظائف . وبين G. Julia وجود مستقيمات تراكم (I) بالنسبة إلى المستقيمات التي تجمع نقطة ثابتة مع أصفار الوظيفة . وبين أوستروسكي وجودها بالنسبة إلى كل وظيفة جزئية التشكل غير بعض الوظائف من العيار المدم . وهناك أعمال أخرى قام بها ساكس W. Saxer وبوليا G. Polya . ودرس بييرناكي Biernacki وجود المستقيمات (I) المشتركة بين وظيفة كاملة ، ومشتقاتها ومبتدئاتها . وحصل مييوه على نفس النتيجة فيما خصّ المستقيمات المماثلة عند بوريل - فاليرون .

إن العائلات الطبيعية للوظائف ذات المتغيرات الكثيرة المعقدة قد درست هي أيضاً . وقد مهدت السبيل لقيام قاعدة أساسية هي قاعدة كاكشيو بولي Cacciopoli وبموجبها تؤدي « الطبيعية » بالنسبة لكل متغير إلى طبيعة مجمل هذه المتغيرات .

وأخيراً أدخل مونتل العائلات الطبيعية المعقدة التي تشكل عناصرها أنظمة من (p) وظيفة تحليلية ، مفيدة في دراسة الوظائف الجبروية $algébroides$. ومن بين الكتاب حول هذه البحوث يجب ذكر ريموندوس Remondos ، وفارو بولوس Varopoulos وغرمانسكو Ghermanescu وبصورة خاصة بلوك A. Bloch وكارتان ودوفرنوا Dufresnoy وباغاناس N. Baganas .

تمثيل الوظائف التحليلية - أتاحت سلسلة Taylor تمثيل وظيفة تحليلية في كل من نقاطها المنتظمة غير القطب . ويلتقي النمو داخل حلقة التلاقي التي هي عموماً حلقة قطع كل نقاطها مفردة والتي يمكن ، في بعض الأحيان ، تفاديها كما بين ذلك بوريل . إن سلسلة لوران Laurent تقدم نفس الخدمة في حلقة دائرية .

إن تحديد النقاط المفردة فوق حلقة التلاقي قد درست من قبل ج . هدامارد وس . مندلبرويت . وقد اهتم هذا الأخير بالسلاسل ذات « البنية الفجوية » ، المتضمنة عدداً لا متناهياً من مجموعات المعاملات الباطلة . في مثل هذه الحالة حدثت الظاهرة « فوق التلاقي » ، أي أن سلسلة لا متناهية وجزئية مستخرجة من السلسلة تلتقي خارج دائرة التلاقي . وقد درست هذه الظاهرة من قبل بوريون Bourion وأوستروسكي وجنتش Jentzsch وزيفو Szegő وكارلسون Carlson ، وبالنسبة إلى شروحات أخرى (سلامل فابر Faber والقدرات عند ديريكليه ، الخ) من قبل بوريون وبرنشتاين VI. Bernstein ومارتان Y. Martin ولوش Lösch .

إن معادلات سلسلة تايلور المتعلقة بنقطة تدخل قيم الوظيفة ومشتقاتها في هذه النقطة . واهتم غونتشاروف Gontcharoff بالحالة التي تكون فيها هذه القيم محددة في نقاط متجاورة تقبل لا نهائيتها نقطة تراكم . والتمثيل من خلال سلاسل متعدّدات الحدود كان موضوع العديد من

البحوث . وقد فحص دولانج H. Delange علاقات مجال التلاقي مع مجمل اصفار متعدّات الحدود المستعملة . ويتوجب ذكر حالات سلاسل متعدّات حدود فابسر وتشيبتيشف Tchebychev ، والتمثيل بواسطة الكسور المستمرة ، وخاصة كسور ستيليجس أو سلاسل جاكوبي Jacobi ، كان موضوع بحوث من قبل فان فليك Van Vleck وپرنغشاين Pringshein وپيرون Perron ، الخ .

ودرس بانليفه Painlevé تمثيل الوظائف في المجالات التي تمتلك خطوطاً فريدة لا تجزئ السطح بواسطة سلاسل واعطى بوانكاريه التمثيلات التحليلية للوظائف ذات الفضاءات الفجوية .

وهناك تمثيل آخر مهم للوظائف التحليلية تقدمه سلسلة ديريكليه Dirichlet من الشكل $\sum_{n=1}^{\infty} a_n e^{-\lambda_n s}$ وتمثل λ_n عدداً حقيقياً و a_n معاملاً حقيقياً أو معقداً و s يمثل المتغير . وتعطي الحالة $\lambda_n = n$ سلسلة تايلور ، مع تغيير المتغير $z = e^{-s}$. وتعطي الحالة $a_n = 1$ الوظيفة $\zeta(s)$ المنسوبة إلى ريمان . إن مجال التلاقي هو نصف سطح محدود ، إلى اليسار ، بمستقيم مواز للمحور الخيالي للإحداثيات والذي يسمى مستقيم التلاقي . ونميز مستقيم التلاقي المستقيم ، ومستقيم التلاقي المطلق ، ومستقيم الهولومورفي . وتبدو ظاهرة فوق التلاقي هنا تحت مظاهر متنوعة . إن سلسلة ديريكليه ، التي تشارك بسلسلة فورييه Fourier وبسلسلة تايلور ، قد درست من قبل هدامارد وماندلبرويت ولاندو وپور H. Bohr وأوستروسكي وبرنشاين وپوليا Polya .

وفي سنة 1942 ادخل ماندلبرويت Mandelbrojt ، على سلاسل ديريكليه المتناشرة مفهوم « التلاحم » المرتبط بالانحراف الأقصى في نصف السطح على يمين السينية x ، أي على ذروة المعيار الأقصى للفرق بين الوظيفة ومجموع الحدود الأولى (n) من السلسلة عندما يتغير (n) من 1 حتى $+\infty$. أن هذا المفهوم الذي قدم خدمات كبرى في العديد من النظريات ، قد استعمله كل من شوارتز L. Schwartz وتوران Turan و Sunyer i Balanguer .

إن الحالة التي تكون فيها مقولات λ_n ذات قيم معقدة قد درست من قبل ليونتيف Leontiev وكابان Kabane وأغمون Agmon .

العائلات الخاصة بالوظائف - إن دراسة مجموعات الوظائف التحليلية أدت إلى تجميعها ضمن عائلات تجمعها خصائص مشتركة وإلى استخلاص نتائج هذا التضامن .

ومن بين هذه الخصائص تلعب « وحدة القدرة » أو « تعددها » ضمن نظام معين ، دوراً مهماً . وقد تمّ أيضاً إدخال الامتداد وشكل المجال (D) المغطى بقيم الوظيفة $f(z)$ ، هذا المجال الذي يمكن أن يكون مقعراً أو نجومياً ، أو حلزونياً . إن الوظائف الوحيدة القدرة ، في مجال ما ، تشكل عائلة شبه طبيعية من معيار رقم 1 . وتشكل الوظائف « المتعددة القدرة » من معيار p ، أسرة شبه طبيعية من معيار p (ب . مونتل) .

وقد درست طويلاً ، عائلة (F) الوظائف $f(z)$ الهولومورفية في الدائرة - الوحدة حيث $f(0) = 1$ و $f'(0) = 1$ أي الوظائف ذات النحو الذي يبدأ بالحد z بحسب تايلور حول نقطة الأصل . وكانت

حالة متعدّدات حدود هذه العائلة موضوع بحوث ديودونيه Dieudonné وروغوزنسكي Rogosinski وزيغو Szegő وبييرناكي Biernacki وكاكيا Kakeya .

أما معيار التوحيد فهو شعاع الدائرة الأكبر الممتد في (D) أي الحاصل بالتمثيل المتوافق في منطقة من الدائرة الوحدة . ووضع أ. بلوك A. Bloch هذا الحكم المهم ، وهرانه ، بالنسبة إلى وظيفة من العائلة F ، يكون لهذا المعيار حد أدنى ايجابي يسمى « ثابتة Bloch » وأما قيمته الحقة فغير معروفة . هذه القاعدة تنبئ بسيطاً لقاعدة بيكار Picard . وتابع فاليريون هذه الدراسة . أما التوسع الذي طال الوظائف المتعددة القدرة (p-valentes) فيعود الفضل فيه إلى فيكيت Fekete وإلى مونتل .

وتغطي الوظيفة الوحيدة القدرة من F ، دائرة ثابتة ذات مركز أصل . ان الحدود الدنيا والعليا لـ : $f'(z)$ و $f''(z)$ و $f'''(z)$ ، هي وظائف معروفة تبعاً لـ z ، فابر (Faber) ، بيبرباخ (Bieberbach) ، نيفانلينا وكوب Koebe وكوسلر Kössler وفيجير Fejer ورايز F. Riesz وأستروسكي . إن معامل z^2 له معيار أقل أو مساو لـ 2 ؛ ومعامل z^3 له معيار أقل أو مساو لـ 3 (K. Löwner) ؛ ومعامل z^4 له معيار أقل أو مساو لـ 4 (غارابديان - شيفر Garabedian - Schiffer) . ويستنتج أن معامل z^n له معيار أقل أو مساو لـ n ، ولكن لم يمكن إثباته إلا في حالات خاصة (نيفانلينا وديودونيه وروغوزنسكي وهابمين وسباسك Spacek) . أما شعاع الدائرة الأكبر المغطاة فقد بحث به رابنهارد Reinhardt ولاندو . وأما الوظائف جزئية التشكّل ، فهناك خيار بين داخل الحلقة وخارج الحلقة المشتركة (مونتل ، مارتى وبيرباخ) .

وتوجد بؤرة احديداب أي دائرة ذات مركز أصل ممثل ، فوق مجال محدودب ؛ كما يوجد « بؤرة تنجم » و « بؤرة مجال ، حلزونية » . هذه البؤر حددتها أعمال فابر وبيرباخ ومارتي وماركس وغروك وزيغو وسباسك وديودونيه . وقد درست بؤرة « القدرة الواحدة » العائدة للوظائف F المحدودة ، وبؤرة التنجم وبؤر القدرات المتعددة في نظام معين (لاندو ، ديودونيه) وبؤرة القدرة الواحدة حيث $f(0) = a_0$ و $f'(0) = a_1$. ودرست الأنظمة ذات القدرات الواحدة من وظائف المتغيرات المتعددة من قبل كارتان وتولن P. Thullen .

الدورية - كانت الوظائف الدورية ، بشكل بسيط أو مزدوج ، في القرن الماضي ، موضوع أعمال ضخمة اقترنت بها اسماء آبل Abel وجاكوبي وفابرسراس وبوانكاريه .

أما قاعدة جاكوبي حول استحالة وجود وظيفة تحليلية تمتلك ثلاثة أدوار مستقلة فقد وسعت من قبل P. Montel باستبدال الغاء الفرق الأول الذي يترجم الدورية ، بالغاء فرق الترتيب الأعلى من الوحدة ، ثم عند دراسة حالة وظيفة ذات عدة متغيرات : عندها نحصل على متعدّدات حدود . إن حالة المتغيرات الحقيقية قد درست أيضاً من قبل انغلوتا Anghelota وبوبوفيتسي T. Popovici .

إن الوظائف جزئية التشكّل في السطح - والمزدوجة الدورية أو « الوظائف الاهليلجية » [= الناقصة] ، وترتيبها هو ترتيب تعدد قدراتها ضمن متوازي أضلاع الأدوار - تلعب دوراً أساسياً

في تنسيق العلاقات الجبرية من النوع واحد .

وهي تمتلك قاعدة جمع جبري ، أي أن قيم الوظيفة المتوافقة مع ثلاث قيم من قيم المتغير احدها هي مجموع الاثنين الآخرين ، ترتبط بعلاقة جبرية حاصلة بمعادلة متعدد الحدود المتشكل من ثلاث قيم تمثل المتغيرات ، بالصفر . وبالمقابل ، إن وجود مثل هذه العلاقة يميز اما وظيفة جبرية واما وظيفة جبرية للأس ، واما وظيفة اهليلجية .

وقد أشملت هذه النتيجة وظائف المتغير الحقيقي من قبل P. Montel وكذلك الحالة التي تكون فيها القيم الثلاث قيم ثلاث وظائف مختلفة ، وذلك من قبل بروها F. Bruhat وكارتان ومينيو R. Meynieux .

لم تفقد تطبيقات الوظائف الاهليلجية على نظرية الاعداد وعلى الجيومترية ، وعلى الميكانيك شيئاً من أهميتها .

وتم اكتشاف تعميم ابداعي للوظائف المزدوجة الدورية من قبل Poincaré وذلك بإنشاء الوظائف القوشية والكلينية [نسبة إلى كل من فوش Fuchs وكلين Klein] المسماة أيضاً الوظائف التشاكلية الذاتية (1881) . إن الانتقالات المتطابقة مع الدورات قد استبدلت بالتغيرات التي تعزى إلى وظائف هوموغرافية ذات معاملات ثابتة وتشكل مجموعة مثل الانتقالات . إن متوازي الأضلاع الأساسي المتكون من الدورتين يصبح مضلعاً محدداً بأقواس دوائر .

وتقدم الوظائف التشاكلية الذاتية ، بالنسبة إلى العلاقات الجبرية المتكونة من متغيرين من نوع يفوق « واحد » ، نفس الخدمة التي تقدمها الوظائف الجذرية في حالة نوع الصفر (0) والوظائف الاهليلجية في حالة النوع « واحد » . وهي تتيح توحيد هذه الوظائف ، أي التمثيل البارامترية (الوسيط) لكل متغير بواسطة وظيفة موحدة تشاكلية ذاتية . وهكذا نحصل على مزدوج من الوظائف الموحدة الشكل ، ودرس بيكاردي ثم مونتل هذه المزدوجات من الوظائف وحداً من شعاع انتظاميتها .

إن الوظائف التشاكلية الذاتية قد كانت موضوع العديد من الأعمال خاصة أعمال فاتوه P. Fatou وجيرو G. Giraud ومايربرغ P. J. Myrberg الذي اهتم أيضاً بالوظائف التشاكلية الذاتية لعدة متغيرات . وفي عهد أقرب ، درست هذه الوظائف الأخيرة بعمق من قبل سيغل C. L. Siegel ومدرسته (كوشر Köcher وساتاك Satake وبيلي Baily) بالاشتراك مع النظرية الحديثة حول المجموعات الكلاسيكية . وأوجد بيكاردي وهامبرت G. Humbert الوظائف فوق الأبيلية [Abel] وفوق القوشية .

ومن بين الاستبدالات التي تجري في الوظائف التشاكلية الذاتية ترسم القوى (Puissances) الكاملة لكل وظيفة هوموغرافية أساسية . وإن أبدلنا هذه الوظيفة الهوموغرافية بكسر جذري ذي درجة أعلى من الأول نحصل على تكرار (itération) عام . إن حالة الكسور الجذرية ذات الحدود المتداخلة والتي أصفارها وأقطابها حقيقية ومتشابهة ، لها خصائص قريبة من خصائص الوظيفة الهوموغرافية . وقد تم أيضاً فحص الحالة التي تكون فيها الوظيفة الأساسية وظيفة كاملة أو وظيفة

محددة ضمن نصف السطح الأعلى والتي تنتمي قيمها إلى هذا السطح النصفى .

ودرس التكرار من وجهة نظر محلية من قبل كونيفس ولو Leau وغريفي Grévy ومن وجهة نظر شاملة ، بناء على مبادرة ب . فاتو ، من قبل جوليا ولاتيس ومايريرغ . وهناك توسع آخر في الوظائف الدورية قد اكتشف من قبل بور H. Bohr : الوظائف شبه الدورية .

فبالنسبة إلى الوظيفة الدورية للمتغير الحقيقي وذات الدور w ، كل قسم من المحور الحقيقي ذو طول أعلى أو مساوٍ لـ w يتضمن على الأقل دوراً واحداً ، وبالنسبة إلى وظيفة شبه دورية ، يتوافق مع كل عدد مهما صغر ، طول يتعلق به ، وبميت أن كل قسم من هذا الطول يتضمن شبه دور ، أي أن قيمتي الوظيفة في نقطتين تبلغ المسافة بينهما « شبه دور » ، دون أن تتساوى هاتين القيمتين ، تختلفان بـ ε على الأكثر .

إن مثل هذه الوظيفة تتمثل بسلسلة Fourier ، المؤلفات من وظائف تريغونومترية أو من أسيات (Exponentielles) . وإذا اختزلت السلسلة إلى عدد محدد من الحدود ، فهناك الوظائف شبه الدورية التي درسها بول P. Bohl وإسكلانجون E. Esclanjon . وهناك أعمال أخرى تعزى ، بشكل خاص فيما يخص الوظائف المزوجة شبه الدورية ، إلى جنسن Jensen وتورنهاف H. Tornehave وبترسون R. Petersen .

إن السلاسل التي يكون حددها العام أمساً ذا مثقل خطي ، بالنسبة إلى المتغير الحقيقي أو المعقد هي سلاسل ديريكلي التي سبق ذكرها . ودراسة هذه السلاسل تعود في بدايتها إلى إحداها التي تعرف الوظيفة (s) الريمانية (نسبة إلى ريمان Riemann) التي تلعب دوراً مهماً في فحص توزيع الأعداد الأولى . وقد أفسحت المجال أمام العديد من الأعمال المتلاحقة بصورة خاصة في اتحامين : اتجاه علاقاتها بالوظائف شبه الدورية ، واتجاه شروط الالتقاء وطبيعة الوظيفة الممثلة .

الوظائف المتعددة الأشكال - إن نظرية الوظائف المتعددة الأشكال قد كانت ، في القرن الماضي ، موضوع العديد من الدراسات المهمة التي قام بها آيبل وجاكوبي وريمان وحديثاً بوانكاريه وبيكارد .

ومنذ بداية هذا القرن ، أفسحت دراسة سطوح ريمان ، المبتكرة من أجل توحيد الوظائف المتعددة الأشكال ومتكاملاتها ، في المجال لقيام بحوث قوية ومثمرة . وتعد مختلف هذه الخصائص في هذه السطوح إلى الطوبولوجيا ، وهي خصائص نوعية تجر وراءها صفات معينة للوظائف التي تتطابق معها ، مقررة بذلك الأساس الطوبولوجي للوظائف التحليلية . إن نفس مفهوم سطح ريمان قد تحدد بدقة ، وبكل عمومية بواسطة الفضاءات التجريدية والمنوعات الطوبولوجية ، بفضل أعمال هيل H. Heyl ورادو T. Rado وبروور J. Brouwer .

ووجود الوظائف المتطابقة مع سطح ريمان معين كان قد درس من قبل كوران Courant و فاتو ، والبحث في أنماط السطوح المتميزة طوبولوجياً ، ثم تصنيفها قد تم من قبل جوردان

C. Jordan وكيركيارتو B. de Kerekjarto . وهناك أعمال مهمة وإجمالية تعزى إلى ستويلوف S. Stoilow الذي أدخل مفهوم التحول الداخلي ، وإلى ألفورس باستعمال سطوح التغطية ، وإلى لافرنتييف Lavrentiev مع الوظائف شبه التحليلية . وهكذا تم ، بدقة ، فحص الانتقال من النظرية الطوبولوجية إلى النظرية الكلاسيكية المتعلقة بالوظائف التحليلية . وحديثاً هناك دراسة أكثر تعمقاً لأنماط سطوح ريمان ، ذات علاقة بنظرية الوظائف الهرمونية ، قد درست خاصة من قبل نيفانلينا وألفورس وساريو L. Sario والعديد من الرياضيين اليابانيين .

ومن بين الطبقات الخاصة للوظائف التحليلية ، كانت الوظائف الجبرية خلف أعمال ضخمة . إنها وظائف مرتبطة بالمتغير بفضل المعادلة الحاصلة من جراء تصفير (مساواة بالصفر) بولينوم متعدد حدود ذي متغيرين . وقد اُتقنتها عند درس الوظائف الأهليلية أو التشاكليكية الذاتية (الأوتومورفيه) . وقد بدأت دراستها المباشرة مع بونزو Puiseux وهرميت Hermite وأستكملها أبيل P. Appell وتانيري J. Tannery ومولك J. Molk وكوزن Cousin .

وفي معادلة وظيفة جبرية ، تشكل معاملات مختلف قوى الوظيفة متعددة حدود المتغير . وفي الحالة التي تكون فيها هذه وظائف تجاوزية أو منتظمة في مجال تعريف الوظيفة ، تسمى هذه الأخيرة جبروية [algébroides] بوانكاريه ورتبتها هي درجة متعدد الحدود بالنسبة إلى الوظيفة .

وقد اشمل Painlevé و Remoundos الجبرويات قاعدة Picard حول القيم الاستثنائية : فالجبروية من مرتبة m يمكن أن تقبل على الأكثر $2m$ قيمة استثنائية . وإذا لاحظنا أن قيمة استثنائية تعرف تركيبة استثنائية من معاملات المعادلة ، أي تركيبة خطية غير باطلة وذات معاملات ثابتة ، نرى أن هذه المسألة مرتبطة تماماً بنظرية التركيبات الاستثنائية وبالعائلات المعقدة التي قال بها مونتل .

واستعمل دوفرنوا J. Dufresnoy المسافة الكروية في الفضاء الإسقاطي ، وقرر طبيعية (اعتيادية) العائلات المعقدة من مرتبة m والقابلة لـ $2m + 1$ من التركيبات الاستثنائية . وأدخل باغاناس ، مع تعريف جديد للمسافة ، التركيبات الخطية للوظائف الجبرية ، وأضاف إلى القيم الاستثنائية نقاط الالتقاء مع منحني جبري . يمتلك $(2m + 1)$ من الفروع المتميزة .

وهناك وجهة نظر أخرى متعلقة بدراسة وظائف المتغير المعقد تعزى إلى بانلفيه . وتتشابه الوظائف في مناطق الانتظام ؛ وهي تختلف وتتمايز ، مثل الكائنات الحية ، بفرادتها . واتخذ بانلفيه كنقطة انطلاق معادلة تفاضلية متحققة بالوظيفة التحليلية والزم نفسه بأن يحدد النقاط الدقيقة الحساسة ، الثابتة أو المتحركة ، في حلول هذه المعادلة . وانطلاقاً من الخلية الأساس المحددة بالقيم عند نقطة أساسية في الوظيفة ، وفي عدد كاف من مشتقاتها ، أعاد تكوين الكائن الرياضي بكامله الذي أوجده انتشار الخلايا بفضل امتدادها التحليلي .

وظائف عدة متغيرات - قدمت دراسة وظائف عدة متغيرات معقدة للرياضيين صعوبات جديدة والمماثلة مع حالة متغير واحد بدت خداعة في أغلب الأحيان .

إن الدراسة العامة وتوسع الأفكار الرئيسية عند كوشي وتوسع المتكاملة ، والبقية ، قد بدىء بها منذ 1888 من قبل بوانكاريه وبيكار د . في سنة 1897 بين هورفيتز Hurwitz أن أية نقطة لا يمكن عزلها . وسرعان ما تكاثرت البحوث مع فاليريون وأوزغود Osgood وليفي - سيفيتا Levi-Civita وهارتوغس Hartogs و | . | . ليفي E. E. Levi وكستلر Kistler وبنكه Behnke في العقد الأول من القرن ، متبوعين في العقد الثاني برينهاردت Reinhardt وآلمن B. Almen وبلاشكه Blaschke ، وفي العقد الثالث بـ هـ . كارتان وبرغمان Bergmann وفلكه Welke وكراتيودوري وسيفر Segre وتولن وسيفري Severi وإيزنهاردت Eisenhardt وكومرل Kommerell وكفيتيسكي Kwietyński . إن الدراسة الجماعية للوظائف قد أثارته بحوث كراتيودوري وكاكشوبولي Cacciopoli .

وتميز مجالات الهولومورفية قد أثار بحوث بنكه و كارتان وتولن وأوكا K. Oka ولولونغ Lelong . ودرست مسألة كوزن حول تحديد الوظيفة بواسطة تعدد أقطابها من قبل فيل A. Weil وأوكا . وفحص البنيات واستعمال الطرق الطوبولوجية أدباً ، بشكل خاص ، إلى أعمال كارتان وسير Serre وشتاين K. Stein وغراورث Grauert وريميرت Remmert .

إن نظرية الوظائف الجبرية ذات المتغيرات المتعددة قد فتحت المجال أمام أعمال العديد من الباحثين الذين كان أولهم بيكار د وهمبرت G. Humbert و كوزن وأخيراً كاستلنوفو Castelnuovo وأنريكس F. Enriques وسيفر وسيفري F. Severi في إيطاليا ، ول . غودو L. Godeaux في بلجيكا وغارنييه R. Garnier وهـ . دولاك H. H. Dulac في فرنسا .

وهكذا أدى تقدم نظرية وظائف المتغيرات المعقدة أثناء هذا القرن إلى دراسة معمقة لتوزيع ولطبيعة فرائدها ، وإلى توزيع قيمها المنتظمة وصور تمثيلها ، وإلى تجميعها ضمن عائلات توحيدها ميزات مشتركة .

هذا التطور المستقل ذاتياً كان نوعاً ما ضخماً بحيث اقتضى تجميع محاضرين متخصصين وإنشاء منشورات « مجموعة المونوغرافيات حول نظرية الوظائف » لـ | . | . بوريل .

الفصل الخامس

المعادلات التفاضلية والمعادلات ذات المشتقات الجزئية

في نظرية المعادلات التفاضلية وفي نظرية المعادلات ذات المشتقات الجزئية ، ظهر بروز علمين « شبه متميزين » : تحليل المتغيرات الحقيقية وتحليل المتغيرات المعقدة . ويمكننا تمييز وجهات نظرهما واستيضاح تساندهما المتبادل بصورة أفضل .

1 - المعادلات التفاضلية

النظرية التحليلية - تبدو نظرية المعادلات التفاضلية في المجال المعقد وكأنها التثمة الطبيعية للنظرية الكبرى التي وضعها في القرن التاسع عشر كوشي وفايرستراس وتلاميذهما.

إن عبقرية بوانكاريه هي التي وسعت ، في البداية ، بشكل ضخم ، حقل تحليل المتغيرات المعقدة وذلك بإنشاء الوظائف الفوشية (Fuchs) أو ذاتية التشكيل (راجع الفصل السابق) : بفضل هذه الوظائف أمكن اعتبار مسألة دمج المعادلات التفاضلية الخطية ذات المعاملات الجبرية محلولة .

إن الدراسة العامة لفرائد الوظائف التحليلية حملت فيما بعد بانلفيه على إدخال تحسينات ضخمة على كامل النظرية : فعمد 1887 ، قرر هذه الواقعة الأساسية : إن الفرائد المتحركة (أي المتعلقة بثابتة تكامل أو حل) في المعادلات التفاضلية الجبرية من الدرجة الأولى لا يمكن أن تكون إلا جبرية ؛ وبالعكس تبين أمثلة بسيطة جداً أن المعادلة التفاضلية الجبرية من الدرجة الثانية يمكن أن تكون ذات نقاط فريدة تتجاوزية متحركة (وتستطيع هذه النقاط انطلاقاً من الرتبة الثانية تشكيل خطوط) . وضمن سلسلة من الأعمال الباهرة ، أسس بانلفيه النظرية التحليلية في المعادلات التفاضلية ، وحصل بشكل خاص على معادلات تفاضلية جبرية من المرتبة الثانية تحل بواسطة متجاوزات جديدة أساساً . نذكر فقط المعادلة الشهيرة : $y''=6y^2+x$ ومتكاملتها العامة هي متجاوزة جزئية التشكل ، لا تُردُّ إلى وظائفها المعروفة سابقاً .

إن العمل الذي قام به بانلفيه قد استكمله بشكل خاص بوترو P. Boutroux (تزايد الحلول حتى اللانهاية) ، وغامبييه B. Gambier (تشكل بعض المعادلات من المرتبة الثانية وذات النقط الحساسة الثابتة) وشازي J. Chazy (معادلات من الدرجة الثالثة فما فوق) و ر. غارنييه (الأنظمة التفاضلية من المرتبة المزدوجة ذات النقط الحساسة الثابتة) ثم مالمكوست Malmquist وبوليا Polya وفاليرون. وتلعب المعادلات ذات النقاط الحساسة الثابتة دوراً مهماً في البحث عن المتكاملات الأولى في الأنظمة التفاضلية. وهكذا استطاع بانلفيه أن يوضح النتائج الحاصلة سابقاً على يد بوانكاريه حول النظام التفاضلي الذي تؤدي إليه مسألة الميكانيك السماوي ذي العدد (n) من الأجسام : أن الشروط اللازمة لكي يلتقي جسمان على الأقل من عدد (n) من الأجسام في نهاية فترة زمنية محددة لا يمكن أن تترجم بعلاقات تبدو فيها السرعات بصورة جبرية .

وقد سعى فلكيو القرن التاسع عشر إلى تمثيل حل مسألة الأجسام الثلاثة بواسطة شروحات بشكل سلاسل تريغونومترية ، كان بوانكاريه قد بين « اختلافها » . في سنة 1912 حصل الفلكي ساندلمان Sundman على الحل العام « الكمي » للمسألة وذلك بأن عبّر عن الإحداثيات التسع الديكارتية (نسبة إلى Descartes) والزمن بحسب الوظائف الهولومورفية للمتغير ، وذلك ضمن شرط بسيط جداً : إن التعبيرات التحليلية تتيح حتى ، في حالة التقاء جسمين ، تحديد امتداد تحليلي للحركة . وقد كانت هذه المسائل ، حديثاً ، موضوع أعمال مهمة من قبل سيغل .

واشتغل بانلفيه على هذا النوع من المسائل باتجاه آخر ، فاستطاع أن يتوصل إلى طبقات واسعة جداً ذات معادلات تفاضلية تحليلية تتضمن ، ضمن الحقل الحقيقي ، تكاملاً كمياً حقاً . وقد وجد أن غالبية هذه النتائج يمكن أن تمتد بطريقة كوشي - ليبشيتز إلى أنظمة غير تحليلية . ومن المهم أن نلاحظ بهذا الشأن ، إن الدراسة المسبقة المعقدة للحالة التحليلية هي التي استطاعت جذب الانتباه إلى بعض الفرائد المهمة التي غابت حتى ذلك الحين عن الجيومترين .

إن الشروحات المفارقة ، التي أبرزها بوانكاريه (بمناسبة المعائل الأساسية في الميكانيك السماوي ، وبصورة أعم في الديناميك التحليلي ، مثل المعادلة البسيطة : $x'' + k^2 x = \mu f(x, t)$ حيث f هي دورية عند t ، و k ثابتة و μ مقياس (بارامتر) صغير) قادت إلى التثبت من مفهوم « التطور التماسي » . فكتب (باعتبار $t \rightarrow +\infty$) :

$$f(t) \sim c_0 + c_1 t^1 + \dots + c_n t^n + \dots$$

وذلك إذا كانت : (باعتبار $t \rightarrow +\infty$) :

$$t^k (f(t) - c_0 - c_1 t^1 - \dots - c_k t^k) \rightarrow 0$$

مهما كان العدد الصحيح الإيجابي k .

إن هذا المفهوم بدا فيما بعد مفيداً جداً في دراسة المعادلات التفاضلية الخطية ذات المعاملات التحليلية ودراسة فرائدها .

المتغيرات الحقيقية - مهما كانت أهمية النظرية التحليلية في المعادلات التفاضلية ، فإنها تبدو غير كافية ، وبشكل من الأشكال ، فهي لا تجيب على المسائل الأكثر إلحاحاً والتي يمكن طرحها . في المعادلة $dy/dx = f(x, y)$ ان الوظيفة f المعطية المؤلفة من متغيرين حقيقيين x, y ، تُفترض ببساطة مستمرة في مجال يضم النقطة (x_0, y_0) ، أفلا يمكن تبين وجود حلول تتخذ فيها x_0 قيمة y_0 ؟ هذا ما حققه بيانو Peano وأرزيلا (1890) ، مستعملين بصورة مباشرة الخطوط المضلعة عند كوشي ، وما حققه بعدهما مونتل (1907) . هناك على العموم عدة حلول . وإن أضفنا شرطاً بسيطاً مثل شرط Lipschitz فالتوحيد قد تم .

إن طريقة التكرار التي قال بها بيكارد (1890) أو طريقة التفريعات المتتالية ، قد قدمت هي أيضاً خدمات جلّ في هذا المجال حيث يفترض أساساً أن المتغيرات هي حقيقية ، وحيث لا تطرح إلا فرضيات عامة حول الاستمرارية والاشتقاقية بالنسبة إلى الوظائف التي تستعمل .

إن كل هذه الطرق تهدف إلى الحلّ الكمي ، وبحكم طبيعة الأشياء ، يصبح تطبيقها معقداً منذ محاولة العمل على توسيع المجال الذي فيه تدرس الوظائف المبحوث عنها . إن بوانكاريه هو الذي كان أول من باشر (1880 - 1885) في الدراسة العامة النوعية للمنحنيات الحلول ، في كل مجال وجودها ، وهي مسألة سبق أن بانت صعوبتها ، عند الاكتفاء بالمعادلة $dy/dx = f(x, y)$ (1) حيث f هي وظيفة جذرية حقيقية معينة ، للمتغيرين الحقيقيين x, y . فقد صنف أول الأمر الفرائد المعتادة : أطواق ، عقد ، بؤر أو حتى مراكز . ووضع علاقة بين عدد هذه النقاط ، وهي علاقة تماثل جداً العلاقة الموجودة بين عدد الأضلاع (arêtes) والرؤوس والوجوه في المجسم (البوليبيدر) ؛ علاقة من شأنها عند الانتقال إلى المعادلات الجبرية العامة $0 = F(x, y, y')$ أن تدخل أيضاً سمة من سمات جيومتريّة الوضع (في نظر بوانكاريه : «Analysis situs» ؛ وطوبولوجيا في التعبير الحالي) ، هي «نوع» بعض السطوح . وفي حالة المعادلة (1) يبين أهمية المنحنيات - الحلول المخلقة أو الدورات ، في حين تلتف المنحنيات - الحلول الأخرى (باستثناء تلك التي تنتهي إلى نقاط فريدة) حول «الدورات الحدود» بشكل حلزوني ، ويقول آخر حلول دورية مقرونة « بحلول تقاربية » .

هنا يمكن أن نرى نواة الاهتمام الذي أبداه بوانكاريه دائماً للبحث عن حلول دورية ، وهذا مثلاً ، بالنسبة إلى مسألة الأجسام الثلاثة (والتي تعرض تقريباً كل صعوبات المسألة العامة المتعلقة بالمعادلات التفاضلية) .

بهذا النوع من الأفكار ترتبط مذكورة ج . هادامارد (1898) بحول جيوديزيات السطوح ذات المنحنيات المتقابلة ، حيث يبرز دور الشروط الطوبولوجية العامة وأهمية الجيوديزيات المغلقة .

وهناك اهتمام خاص يتعلق بالنوع 1 (القلب الطوقي) . وقد يحدث أن لا تكون هناك نقطة فريدة في المعادلة التفاضلية . نفترض وجود المعادلة $dy/dx = f(x, y)$ حيث تقبل f الحقبة 2π ، سواء بالنسبة إلى x أم بالنسبة إلى y ، ونفترض أن هذه الوظيفة هي دائماً محددة بحيث يتغير طول المنحنى - الحل x ، دائماً بنفس الاتجاه . وإذا اقتضت f على الثابتة a ، فهناك حالتان تعرضان ،

بحسب ما إذا كان a جذرياً أم غير جذري : في الحالة الأولى ينخلق كل منحني - حل ، وفي الحالة الثانية لا ينخلق المنحنى على الإطلاق ، ولكنه ينتهي بالمرور بأكثر ما يكون من القرب من أية نقطة . والآن إن افترضنا f تحليلية (أو حتى اشتقاقية بسيطة) ، تساءل بوانكاريه Poincaré ، هل أن النتائج المتتالية « لنقطة انطلاق ، يمكن أن تشكل « مجموعة كاملة وغير مستمرة » . وسنداً لتبيين موفق قدمه أ. دنجوي (1932) لا يكون هذا الترتيب ممكناً ؛ ويكون ممكناً بالنسبة إلى بعض الوظائف (f) الاستثنائية جداً التي لا تحتوي على خصائص النظام المطلوبة .

وقد توصل بوانكاريه في أواخر حياته ، عن طريق بحث الحلول الدورية لمسألة الأجسام الثلاثة ، إلى مسألة خاصة في الطوبولوجية : إن امتلكننا حلاً دورياً « مثقلاً المميزان » خياليان انطلاقاً ، يمكن منه استخلاص عدد لا متناه من الحلول الأخرى الدورية ، ولكن هذا يتم فقط مع الاحتفاظ بصحة قاعدة ما متعلقة بالتغيرات النقطية ponctuelles ، ذات الثابت المتكامل الإيجابي ، في تاج دائري بذاته . والبيان الذي كان بوانكاريه يتمناه تمّ تقديمه ، بعد ذلك بقليل من الأشهر ، من قبل بيركوف (1913) G. D. Birkhoff . وقد طور هذا الأخير ومدرسته فيما بعد هذه المسائل ضمن النظرية العامة المتعلقة « بالأنظمة الديناميكية » .

وانطلاقاً من سنة 1920 تقريباً جذبت المعادلة التفاضلية $x'' + x'f(x) + k^2x = 0$ (أو $v dv + (vf(x) + k^2x) dx = 0$) انتباه جمهور واسع حول مسألة « دورات » Poincaré وحول مسألة مجاورة : « تأرجحات الاسترخاء » وكانت موضوع العديد من الدراسات (فان در بول I . وهـ . كارنان وليينارد Liénard واندرونوف Andronov) ودراسات إجمالية (Andronov وشايبكين Cheikin ، 1937 ؛ مينورسكي Minorsky ؛ وهاغ Haag ، وسانسون Sansone وكونتي Conti وليفشيتز Lefschetz ، 1959) .

تمتاز - إن الدراسة في الحقل المعقد ، حول الصفر ، التي تناولت حلول نظام تفاضلي :

$$\frac{dx_1}{X_1} = \frac{dx_2}{X_2} = \dots = \frac{dx_n}{X_n}$$

وفيه تكون الأحرف (X) عدماً عند الصفر ، وهولومورفية بجوار هذه النقطة ، وهي دراسة بدأها بوانكاريه وبيكار ، قد استكملها بشكل خاص بنديكسون Bendixson وبوترو وشازي ودولاك وغارنييه ومالكويست . . .

وأعطت الدراسة المماثلة في الحقل الحقيقي أعمالاً مهمة من قبل ليابونوف (1892) Lia و Hadamard و Poincaré و يانلفيه و كوتون Cotton الخ كما توضحت معانٍ مختلفة لكلمتي استقرار Stabilité ولا استقرار instabilité من قبل بيركوف (1927) .

وأكتفى Poincaré بنظام المعادلات العامة للديناميك (أو إذا شئنا ، « حساب المتغيرات ») ، فترصل إلى نتائج مهمة بفضل وجود « الثابت المتكامل » ، الإيجابي أصلاً ، في هذا النظام . وهكذا حقّق ، « الاستقرار علم ، طريقة بواسون Poisson » (الرجوع عدداً لا متناهياً من

المرات ، إلى أقرب نقطة مرغوبة من الوضع الأصلي) .
 وطبق شازي J. Chazy هذه النظرية عن الثوابت المتكاملة ، بتوسيع نظرية النوعية حول الأنظمة التفاضلية ، معتبراً من جهة أخرى مثل ساندلمان حلّ مسألة الأجسام الثلاثة تابعاً وظيفياً تحليلياً للزمن ، فترصّل (1920) إلى نتائج مفيدة حول المسارات : تصنيف ، المسلك عندما تتزايد إلى ما لا حدّه .

ولم تهتم نتيجة Poincaré بكل المسارات دون استثناء : إن احتمال تعطيل القاعدة من قبل مسار مأخوذ بالصدفة هو « متناهي الصغر » . والمبدأ « الارغودي » (الطاقى) القائل أن المسار (باستثناءات قليلة) هو « كثيف في كل مكان » في الفضاء وأنه يملؤه « بكثافة نوعية ثابتة » هو دقيق الالتياب ومتناهي الصعوبة : والمسألة لم تعالج إلا حوالي سنة 1931 ، بناء على تشجيع بيركوف (D. Birkhoff) من قبل كورمان Koopman وهوف E. Hopf وفون نيومان J. Von Neumann الذين استعملوا النتائج الأكثر دقة في نظرية وظائف المتغيرات الحقة .

إن المعادلات العامة في الديناميك ، بالشكل الذي قال به هاميلتون Hamilton ، ليست غير المعادلات ذات المميزات الموجودة في معادلة ذات اشتقاقات جزئية من المرتبة الأولى ، وهذا الحدث معروف من زمن بعيد . ومن دون شك ، إن مفهوم الضمة المؤلفة من المتطرفات الاعتراضية فوق ذات السطح (كنيسر Kneser) ثم قاعدة « الاستقلال » التي أشار إليها هيلبرت في محاضراته الشهيرة سنة 1900 ، في باريس ، هما اللذان أوضحا ، بشكل ملحوظ ، هذا النوع من الأسئلة : « إن تجميع المتطرفات Extrémales لجعلها اعتراضية في نفس السطح » ليس شيئاً آخر إلا « تجميع مميزات معادلة ذات اشتقاقات جزئية من المرتبة الأولى من أجل استخلاص حلّ معين منها » .

وحوالي سنة 1901 ادخل E. Cartan المفهوم العام « للشكل التفاضلي الثابت » بالنسبة إلى نظام تفاضلي وأوضح رابطة الضيقة بمفهوم اللامتغير التكاملية المستخدم من قبل Poincaré .

وأخيراً استفاد فيسيو E. Vessiot من الفكرة التي أطلقها لي S. Lie ومفادها أن كل تغير في التماس لا متناهي الصغر (في السطح) يمكن أن ينظر إليه وكأنه انتشار موجات ، فبيّن (1906-1913) أهمية مفهوم الموجة الأولية سواء من أجل حساب المتغيرات ونظرية المعادلات ذات المشتقات الجزئية من الرتبة الأولى ، أم من أجل الديناميك التحليلي أو الفيزياء الحديثة .

تدخل نظرية المجموعات - بعد 1883 ، أقام E. Picard ، فيما خص الوظائف المنسجمة مع المعادلة التفاضلية الخطية نظرية مماثلة تماماً للنظرية التي قدمها غالوا Galois بالنسبة إلى المعادلات الجبرية . إن الوظائف (n) التي تشكل نظاماً أساسياً من الحلول بالنسبة إلى معادلة من رتبة n ذات معاملات جذرية ليست محددة بالعلاقات التي تربطها بمشتقاتها وبالمتغير ، إلا بعد بعض التحولات الخطية التقريبية : إن مجمل هذه التحولات يشكل مجموعاً مستمراً خطياً ، مجموع التجذير ، وهو يعطي نوعاً ما مقياس تجاوزية الحلول ؛ إن تصنيف الوظائف التي تثبت معادلة خطية يتركز إذاً على خصائص المجموعات الخطية . واستعمل Vessiot نتائج Lie فقدم

سنة 1891 عرضاً أيقظاً لهذه البحوث ، ودلّ بشكل خاص على الشروط الضرورية والكافية من أجل أن تتكامل المعادلة الخطية بالتريعات .

لقد كان من الطبيعي البحث في توسيع هذه النتائج لتشمل مجموعات أخرى . وبين Lie أن كل الحالات تقريباً التي تعرض عادة في تكامل المعادلات التفاضلية تنتج عن تحولات تشكل مجموعاً . هذه المجموعات ، إذا نفذت في المتغير x ، أو في المتغير x والوظيفة y ، تتترك المعادلة غير متغيرة . ولكن الحالات التي أشار إليها Lie كانت دائماً حالات خاصة . وقد أشار Drach J. سنة 1893 إلى أن هذه البحوث لا يمكنها أن تشكل التعميم الحقيقي لنظرية Galois وأسس في سنة 1898 نظرية عامة حول « التكامل المنطقي » ، بالنظر إلى المجموع النقطي ponctuel ذي المتغيرات التي يبلغ عددها n والذي يسمح بالانتقال من نظام من n متكاملات أولى مستقلة إلى نظام آخر . ووضعت أعمال Vessiot (1902) بمنجى من كل انتقاد التبيين الدقيق لوجود مجموع التجذير المطابق . وقادت طريقة Drach الجبرية مباشرة - انطلاقاً من المعادلات التفاضلية - إلى المجموعات المتفرعة عن المجموع النقطي العام ؛ وهي مستقلة عن نظرية Lie وإن كانت تتبع التوصل إليها .

وقد أجرى Drach العديد من تطبيقات نظريته على مسائل متنوعة من الجيومتريا والميكانيك (خطوط التواء سطح الموجات ، الخطوط المقاربة للسطح المكعب الأكثر عمومية . . .) . فضلاً عن ذلك إنّ هذه النظرية حول التكامل المنطقي هي التي أتاحت لـ بانلفيه ، أن يؤكد أن بعض المعادلات الجديدة تحدد متجاوزات [= متساميات] وتتحول إلى متجاوزات سبق ادخالها في التحليل .

إن نظرية ريت (1932, 1950) يمكن أن تعتبر بمعنى من المعاني ، وكأنها تكميل لنظرية Drach ؛ وهي ترتبط بالدفع القوي « الجبري » الموجه ، خاصة من قبل نوفر E. Noether ، إلى الرياضيين الحديثين . والأعمال الحديثة الأكثر أهمية في هذا الشأن هي أعمال كولشن E. Kolchin .

II - المعادلات ذات المشتقات الجزئية

إن نظرية المعادلة ذات المشتقات الجزئية من الدرجة الأولى مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بنظرية نظام من المعادلات التفاضلية العادية هو نظام « المميزات » . فإذا كانت المعادلة تحليلية ، فإن المميزات تكون كذلك ، وبحسب طبيعة الطرح الأساسي « قيمة الوظيفة المجهولة عن $x_0 = 0$ » مثلاً ، فإن الحلول تكون أو لا تكون تحليلية . وعرضت نتائج مماثلة بالنسبة إلى نظام من الدرجة الأولى ذي مجهول واحد .

إن الظروف تختلف تماماً في حالة المراتب الأعلى من واحد ، أو في أنظمة المرتبة الأولى ذات المجهولات المتعددة .

النظرية التحليلية - نضع أنفسنا أولاً من وجهة النظر التحليلية ، كما فعل Cauchy وكوفالسكايا Kovalevskaja وخلفاؤهما المباثرون سيراي Ch. Méray وريكيه Ch. Riquier .

و Riquier هو الأول ، الذي يُن ، في سنة 1893 ، بالنسبة إلى نظام تحليلي متجانس شكلاً ، قاعدة دقيقة تدل على الوظائف الأساسية التحليلية المستقلة ، بعدد محدد ، يعطي الحصول عليها من أجل تحديد حل كامل . هذه القاعدة مهمة جداً ، ولكنها لا تهدف إلا إلى نتيجة محلية في تحليل المتغيرات المعقدة .

وبهذا التحليل بالذات تتعلق أعمال E. Cartan (1901 - 1904) : دون تمييز ، في البداية ، بين مختلف المتغيرات التي أعملها ، المتغيرات التي هناك مجال لا اعتبارها متعلقة بالأخرى ، عالج كارتان الحالة العامة المتعلقة « بنظام من المعادلات ذات التفاضليات الشاملة » أو « نظام بفاف Pfaff » ، وتوصل فيما بعد - فيما خص الأنظمة العامة المتعلقة بالمعادلات ذات المشتقات الجزئية - إلى مفهوم « نظام الترقية أو التجدير » وهو مفهوم مستقل عن كل شكل خاص يعطى لنظام ، وغير متغير بالنسبة إلى كل تبديل في المتغيرات سواء المستقلة منها أو غير المستقلة .

وبين جانيه M. Janet (في سنة 1913) - بفضل طريقة المعاودة (التكرار) التي تنقل من حالة المتغيرات (بعدد n) المستقلة إلى حالة $(n + 1)$ - كيف أن قاعدة Cauchy البسيطة ، ذات معادلة المجهول الواحد ، من المرتبة العامة m ، تمكن من الحصول على قاعدة ذات وجود عام : وترتكز القاعدة بصورة أساسية على واقعة أن كل نظام من المعادلات ذات المشتقات الجزئية ، وذات عدد محدد من الوظائف المجهولة ، يساوي نظاماً لا يتضمن إلا عدداً محدداً من المعادلات (تريس A. Tresse 1892) .

يمكن اعتبار نظرية حزمات التغيرات اللامتناهية الصغر ، التي نادى بها Vessiot (1924) كقربن لنظرية أنظمة Pfaff المعزوة إلى E. Cartan .

وتستخدم طريقة E. Cartan « الحساب التفاضلي الخارجي » ؛ وهي تتلاءم بشكل خاص مع التطبيقات الجيومترية وقد استخدمت أيضاً كأساس لنظريته المهمة حول بنية مجموعات التحولات غير المنتهية ، بالمعنى الذي قصده Lie . وقد عممت بعد ذلك ، خاصة من قبل كاهلر E. Kaehler ، الذي وسّعها فاشملها أنظمة ما حول المعادلات التفاضلية الخارجية (1934) .

ومعادلة المرتبة الثانية ذات المتغيرين المستقلين ، ذات المميزات المنفردة ، قد عولجت (دائماً من هذه الزاوية ، حيث كل الوظائف الداخلة هي تحليلية) ، من قبل داربو G. Darboux وغورسا E. Goursat اللذين ردا بحث المعادلات « القابلة للحل بشكل ظاهر » إلى معادلات تقبل « ثابتين » لكل نظام ذي مميزات . واستكشاف ما إذا كان هذا قد حصل يقتضي سلسلة لا متناهية من العمليات ، ولهذا أيضاً وجب الاكتفاء بالبحث عن شروط ، فقط ضرورية ، من أجل شكل المعادلة ، التي أصبحت بالتالي مخصصة . وقد توصل غو E. Gau وغوس R. Gosse إلى نتائج في هذا الاتجاه . استعمل Vessiot طريقته حول حزمات التحولات اللامتناهية الصغر فيّن (سنة 1942) أن مسألة البحث عن المعادلات المتكاملة ، بواسطة طريقة Darboux ، هي بكاملها محكومة بنظرية استمرارية مجموعات التحولات .

وتابع دراك - مسترشداً بأفكاره حول التكامل المنطقي ، ومتخلياً عن طريقة

Darboux - دراسة المعادلة من المرتبة الثانية ذات المتغيرين ، في الطريق الذي كان فتحه أمبير Ampère سابقاً : واستطاع بفضل الإدخال الظاهر لمتغيرات Ampère (1926) أن يبين الرابط المتبادل بين المعادلات البسيطة ذات المظاهر المتنوعة جداً .

إن دراسة وتصنيف الأنظمة المتضمنة معادلات مستقلة بعدد الوظائف المجهولة ، قام بهما M. Janet (1920) الذي قدم عنهما (1926) تطبيقاً لنظام شلاfli Schläfli ، المستعمل ، حتى ذلك الحين ، بدون تبرير كاف في نظرية النسبية التي قال بها Levi - Civita .

وبالنسبة إلى معادلة ذات مشتقات جزئية وذات عدد m من المتغيرات المستقلة ، مفترضة من المرتبة الثانية ، نأخذ محلياً ، من أصل تعددية ذات $n-1$ من الأبعاد ، الوظيفة المجهولة واحدى مشتقاتها في وجهة غير متماسة مع التعددية ، فيمكن عموماً حساب المشتقات الثانية ، والمشتقات المتتالية من كل مرتبة . وهناك استثناء بالنسبة إلى بعض التعدديات ، المسماة متميزة والتي أبرزها بدون J. Beudon (1897) . وقد وسع هذا المفهوم من قبل J. Hadamard أنظمتها تتضمن عدداً من المعادلات بعدد الوظائف المجهولة ، أنظمة طبيعية (1899) وغير طبيعية ضمن بعض الفرضيات (1906) . وعلى العموم ، ان التعدديات المتميزة عند Beudon - Hadamard تتحدد بمعادلة ذات مشتقات جزئية من المرتبة الأولى ، خطوطها المميزة تسمى « ثنائية التميز » في المعادلة أو في نظام معين من المعادلات .

إن هذه المفاهيم مشتقة من الدراسة التحليلية السابقة : والتعدديات المميزة لمعادلة تحليلية معينة هي التعدديات الاستثنائية بالنسبة إلى قاعدة Cauchy - Kovalevskaja .

المتغيرات الحقيقية - لنقف الآن من ناحية المتغيرات الحقة وهي ناحية توصلنا إليها بالضرورة معادلات الفيزياء الرياضية أمثال :

$$(1) \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 \quad \text{معادلة الزخم (نيوتنية) :}$$

$$(2) \quad \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 u}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 u}{\partial z^3} - \frac{1}{a^2} \frac{\partial^3 u}{\partial t^3} = 0 \quad \text{معادلة الموجات الكروية :}$$

المعادلة الأولى ليست لها مميزة حقيقية . أما مميزات الثانية ، $f = \text{ثابتة}$ ، فهي محددة بـ :

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 - \frac{1}{a^2} \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^2 = 0$$

هذه الوقائع مرتبطة بشكل وثيق مع طبيعة الحلول الحقيقية التي تقدمها إحدى المعادلتين .

الزخم من النمط الاهليجي - بالنسبة إلى معادلة الزخم ، وإذا اتخذنا - على $x = 0$ مثلاً - قيم $\varphi = u$ و $du/dx = \psi$ ، مستجمعة الشروط العامة للاستمرارية والاشتقاقية ، وإذا بحثنا عن حل محدد من جهتي $x = 0$ ، فهذان الحلان يجب أن يشكلا في مجموعهما وظيفة واحدة « هرمونيكية » تكون تحليلية (دوهم P. Duhem 1891) ؛ وإذا لا تكون المسألة ممكنة إلا إذا كانت φ و ψ تحليليتين . وإذا لم يبحث عن u إلا من جهة واحدة من $x = 0$ فإمكانية المسألة تقتضي علاقة بحيث إذا

كانت إحداهما معروفة ، فالأخرى تكون محددة بوظيفة تحليلية قريبة (Hadamard ، 1902) . فضلاً عن ذلك ، إذا أبدلنا ، في الحالة الأولى ، ϕ و ψ بوظائف تحليلية قريبة جداً (وهذا دائماً ممكن) فلا يمكن الأمل باستخراج حلٍّ منها ، بالانتقال إلى الحد : وتدل أمثلة بسيطة على القيم الكبرى التي تتخذها الحلول ، من أجل معطيات تحليلية حقيقية صغيرة جداً (Hadamard ، 1917) .

إن الفيزياء هي التي أوحى يومها بفكرة مسألة « مطروحة جيداً » : مسألة ديريكلي ، وهي تقوم على إيجاد حل للمعادلة (1) في حجم معين بعد معرفة قيمة u فوق حدودها .

أما بالنسبة إلى المعادلة (2) فإن مسألة Cauchy هي التي تبقى « مطروحة جيداً » ، إذا ، على الأقل ، كانت المعطيات (الطروحات) محمولة بتعددية « موجهة في الفضاء » : إن التعدديات التمييزية تندخل من أجل تحديد انتشار اللااستمراريات من المرتبة الثانية .

هذه المفاهيم الأساسية قد أثبتت خاصة من قبل Hadamard منذ السنوات الأولى من القرن العشرين . إن إحدى الخصائص الأكثر قرباً لوظيفة تتوافق مع معادلة الزخم (أو معادلة Laplace) في مجال D (وظيفة هرمونيكية) هي أن تكون مساوية في كل نقطة A داخل D لمتوسط قيمتها فوق سطح كرة مركزها A ومحتواة بكاملها ضمن D . هذه الخاصية فتحت المجال أمام الكثير من التعميمات . وأدخل F. Riesz (1926) تحت اسم الوظائف « تحت الهرمونيكية » الوظائف الدنيا في كل نقطة A ، التي هي أدنى من متوسطها فوق سطح كرة صغيرة بما فيه الكفاية ذات مركز A ، هذه الوظائف اتخذت فيما بعد أهمية (برولو M. Berlot) . ومن جهة أخرى ، قدم ج . شوكيه G. Choquet ودينني J. Deny (1944) صيغاً للمتوسطات في مجاميع أكثر عمومية وكان لبحوثهما حول هذه النقطة نتائج مذهشة (شوارتز L. Schwartz ، هـ . كارتان H. Cartan) . وبالنسبة إلى معادلات من نمط آخر مختلف تماماً ، إنما أيضاً ذات معاملات ثابتة ، نشير إلى وجود صيغة عامة للمتوسط يعود الفضل فيها إلى أسغايرسون A. Asgeirsson (1932) وتشكل إحدى النتائج الأهم والأعم التي عرفت حول هذه الحالة المدروسة قليلاً ، والمسماة « ما فوق القطعية الزائدة » ومعادلتها هي :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z} = 0$$

وهي المثل الأبسط (Hamel ، 1901) .

وفيما خص مسألة Dirichlet ، لاحظ Riemann - بين كل الوظائف التي لها القيمة المعطاة عند الحدود - أن الوظيفة التي تقلص إلى أقصى حد متكاملة ما ذات شكل بسيط قام بتعيينها ، فهي حتماً بغرض المعادلة (1) . وقد لاحظ Weierstrass أنه يبقى للبيان ، وبدقة ، وجود مثل هذه الوظيفة . وتوصل D. Hilbert إليها (1901) بفضل مفهوم عائلة الوظائف (المتتالية أيضاً) والتي يعود الفضل فيها إلى أسكولي Ascoli وأرزيلا Arzela . إن هذه « الطريقة المباشرة » في « حساب التغيرات » ، قد استعملت بعد ذلك ، في هذه المسألة بالذات ، من قبل Lebesgue (1907)

وزارمبا Zaremba (1909) ، وفي حالات مماثلة أخرى من قبل تونلي L. Tonelli ورايز F. Riesz و R. Courant و P. Montel .

إن الطريقة التي اقترحها نيومان G. Neumann (1877) تقوم على تمثيل الحل المطلوب تحت شكل زخم ذي طبقة مزدوجة ممتدة على طول الحدود المتطورة ، وهكذا تم الوصول إلى « معادلة متكاملة » لها شكل المعادلات التي درسها فيما بعد ، بشكل أكثر عمومية فرد هولم I. Fredholm .

وتكتب المعادلة العامة التي وضعها Fredholm : $f(M) + \lambda \int_V K(M, P) f(P) dV_P = g(M)$: حيث تكون $K(M, P)$ وظيفة معطاة ، وكذلك $g(M)$ وتكون λ ثابتة معطاة . وحصل Fredholm ، على العموم ، على حل وحيد وعلمي صريح ، بشكل حاصل قسمة وظيفتين كاملتين من λ ؛ أما بالنسبة للقيم الاستثنائية لـ λ ، فالمسألة مستحيلة عموماً ؛ فإذا أصبحت ممكنة فإنها تصبح بذات الوقت غير محددة .

إن طريقة Fredholm القوية قد أتاحت معالجة العديد من المسائل المتعلقة بالمعادلات ذات المشتقات الجزئية ، وقد نورت الأعمال القديمة التي قام بها ستورم - ليوفيل Sturm - Liouville ، وأتاحت السيطرة على مسألة وجود وظائف أساسية في نظام متذبذب ، التي كانت كلفت الكثير من الجهود سابقاً ؛ وبين Schwarz وجود أول وظيفة سنة 1885 وبين Picard الثانية سنة 1893 ، وبين Poincaré الكل سنة 1894 . تشير بهذا الصدد إلى التطور ، الذي حصل في النصف الأول من هذا القرن ، لمجمل نظرية المعادلات المتكاملة الخطية ، المتضمنة معادلة فولتيرا (الأبسط من معادلة Fredholm) والمعادلة ذات الحدود الثابتة من النصف الأول (حيث لا يظهر في الشق الأول الحد بدون إشارة التكامل : $f(M)$) ، وهي الأكثر صعوبة من معادلة Fredholm ، والتي قدم E. Picard على أساسها نتيجة مهمة (1909) ، ثم المعادلات المتكاملة المفردة (ويل H. (1908) Weyl ؛ وكارلمان T. Carleman (1923) . لنلاحظ أن هذه أدوات ملائمة تماماً وعظيمة الفائدة .

وهناك طريقة مختلفة تماماً هي طريقة المسح المنسوبة إلى Poincaré (1890) ، حيث تتحقق ، في كل تقريب ، شروط المحاذاة في حين لا تكون المعادلة ذات المشتقات الجزئية كذلك إلا عند الحد النهائي . وعلى أثر أعمال La Vallée - Poussin (1930) ظهرت توسيعات ضخمة لهذه الطريقة ، سوف يكون مكانها أبعد من هنا بقليل .

إن كل ما تقدم ، يطبق ، مع بعض التغيير في التفصيلات ، مهما كان n ، على المعادلة العامة التي قال بها Laplace وهي :

$$\Delta u \equiv \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 u}{\partial x_n^2} = 0$$

من المعلوم منذ زمن بعيد أن الوظائف - داخل مجال وجودها - التي ترضي هذا الوجود (وظائف هرمونيكية) هي تحليلية بالنسبة إلى المتغيرات المتنوعة x_1, x_2, \dots, x_n . هذا القاعدة الرائعة أولدت عدداً كبيراً من التعميمات ؛ وقد بُنيت بالنسبة إلى المعادلات الخطية الاهليلجية ذات

المعاملات التحليلية من قبل E. Picard (1890) ثم بالنسبة إلى أنماط أكثر عمومية بكثير من قبل برنشتاين S. Bernstein (1904, 1910, 1928) ومن قبل جيرو G. Giraud (1926) وجفري M. Gevery الخ .

وفي حالة $n = 2$ ، مهما كان منحني Jordan الذي يحدد المجال فقط المجاور المعين ، يكون لمسألة Dirichlet حل بالنسبة إلى كل وظيفة مستمرة معينة على الدائر . وفي حالة $n = 3$ ، وبالنسبة إلى مجالات محددة بسطوح مغلقة بسيطة جداً ، قد يحصل - بالنسبة إلى بعض الوظائف المستمرة المعطاة على التخيم - أن لا ينزع « الحل » الوحيد الممكن مجدداً - بالنسبة إلى نقاط - تخوم استثنائية - نحو القيمة المتباعدة (Lebesgue ، 1912) . إن طرح المسألة بالذات قد استكمل بشكل ملحوظ من قبل فير N. Wiener في سنة 1924 :

عندما تكون G مجالاً محدداً بسطح تخيم Γ و $f(p)$ وظيفة مستمرة في $\Gamma + G$ و G_p سلسلة من المجالات ذات التخوم Γ_p ، المتلاحقة نحو G ، والتي تكون بالنسبة إليها مسألة Dirichlet محلولة ، باعتبار أن كل G_p هي جزء من G_{p+1} ، عندها تتلاقى سلسلة حلول u_p (بحيث تكون $\Delta u_p = 0$ في G_p و $u_p = f$ فوق Γ_p) بشكل متسق ، في كل حقل مغلق هو جزء من G ، نحو وظيفة u ؛ إن هذه الوظيفة مستقلة عن التامة الخصوصية لـ G_p وعن القيم التي تتخذها f داخل G . أن u هي التي تسمى حل مسألة Dirichlet المعممة . من هنا يستنتج بسهولة مفهوم سعة المجال .

إن الوظيفة الهرمونيكية الحاصلة يمكن أن لا تنزع نحو القيمة المفروضة : والنقطة التي قد تكون محط هذا الحدث الاستثنائي تسمى غير منتظمة . وقد بين Wiener أن نقطة ما تكون منتظمة أو غير منتظمة ، بحسب ما تكون سلسلة ما محددة تماماً متفرقة أو متلاحقة .

وتؤكد قاعدة فلدية وضعها E. Picard (إنما نشرت سنة 1923) أن وظيفة هرمونيكية لـ M في مجال ما ، باستثناء نقطة A ، ومحدودة باتجاه هي بالضرورة من الشكل : $K \cdot h(AM) + v(AM)$ ، حيث تكون v هرمونيكية حتى في A ، $h(AM) = \frac{1}{|AM|^{n-2}}$ (أو $\frac{1}{|AM|}$ في حال $n = 2$) ، و $K =$ ثابتة . وفي سنة 1925 حصل بوليفان G. Bouligand ، على تعميمات مفيدة من هذه النتيجة بالنسبة إلى حالة نقطة - تخيم ، ليست بالضرورة معزولة . ويمكن أيضاً اعتبار هذا المبدأ حول « الفرائد الإيجابية » ، وكأنه في أصل البحوث الدقيقة التي قام بها م . برولو (1939 وما بعد) . وعلى أثر هذه البحوث ، وبعد استعمال الملاحظات المهمة التي قدمها La Vallée - Poussin (1930 ، 1937) ، قدم H. Cartan (1941 وما بعد) نظرية جديدة عامة جداً حول الزخم والمسح ، عولجت بصورة منهجية بواسطة مقاييس رادون Radon الإيجابية « (وظائفية خطية إيجابية ، محددة بالنسبة إلى مجمل الوظائف المستمرة الإيجابية ، والمعدومة خارج مجموعة كثيفة) ؛ وتتبع نظرية النقاط غير المنتظمة هنا ، بدلاً من استنباطها ، النظرية العامة حول المسح ، وتنشق عنها بشكل طبيعي ، إن أمكن القول ، وتجب أيضاً الإشارة إلى الأعمال الجميلة الحديثة التي قام بها G. Choquet حول طاقة المجموعات .

نذكر أيضاً ، في جملة المعادلات الأخرى الشهيرة ، المعادلة التي أدت إليها نظرية السطوح

الدنيا [الأقلية] : لقد كانت مسألة Plateau موضوع دراسات من قبل R. Garnier ودوغلاس Douglas (1930) و R. Courant . في كل هذه المسائل تطرح دائماً المسائل الأساسية الثلاث حول الوجود ، والوحدة ، والاستمرارية .

الموجات والنمط الهيربولي - إذا كان الشكل المميز للمعادلة ذات الاشتقاقات الجزئية من المرتبة الثانية وذات عدد (m) من المتغيرات المدروسة ، غير محدّد ، أي أنّه مجموع عدد (m) من المربعات المستقلة ، ولكن غير مزودة كلها بنفس الإشارة ، عندها تكون المعادلة من النمط الهيربولي (القطعي الزائد) . إنّ النمط الهيربولي الطبيعي - الذي زود أحد مربعاته بإشارة ، أما الأخريات $m-1$ فزودت بإشارة معاكسة - هو الذي درس أكثر حتى الآن : إن مسألة كوشي مطروحة هنا تماماً ؛ بشرط أن تكون النوعية S التي تحمل المعطيات ، ذات توجه فضائي لا زمني ، كما يقال . إن القيمة التي تتخذها u في نقطة P خارجة عن S لا تستخدم إلا قسماً من المعطيات ، أي المعطيات المتعلقة بقسم من S يزداد اتساعه بمقدار بعد P ذاتها عن S . وبافتراض المعادلة خطية وتحليلية وغير بارابولية (قطعية مكافئة) عرف Hadamard بشكل عام «الحل الأولي» الذي سبق أن عثر عليه بيكارد في حالات خاصة . ثم فيما خص النمط الهيربولي العادي توصل Picard إلى حل مسألة Cauchy «المطروحة تماماً» بفضل استعمال «الصيغة الأساسية» (غرين - ريمان Green-Riemann) و«المفهوم الجديد» المحدث بهذا الشأن ، عن «القسم المنتهي» لمتكاملة متناثرة ، وهذا على كل ، في حالة تكون فيها (m) وترّاً ؛ أما الحالة التي تكون فيها m شعفاً فتعالج بطريقة «المنحدر» . إن أعمال Hadamard (من 1904 إلى 1932) قد وضحت الكيفيات المختلفة التي من خلالها يمكن فهم مبدأ هويجنس «Huygens» ؛ في معناه المحصور ، لا يكون صحيحاً على الإطلاق عندما تكون m وترّاً ؛ وهو غير صحيح عندما تكون m شعفاً إلا إذا كان «القسم اللوغاريتمي من الحل الأولي قد زال» . وفي سلسلة من البحوث ترقى إلى سنة 1933 (عرضت في مجملها سنة 1948) ، عاد M. Riesz إلى المسألة فنجح في استبعاد التمييز بين الحالتين بحسب شفعية m .

وبمسألة Cauchy أيضاً - حيث المعطيات لا تفترض تحليلية ، بل قابلة للاشتقاق فقط حتى مرتبة مناسبة - اهتم بنجاح ، فيما خص الأنظمة ، كل من هرغلوتز Herglotz (1927) ، بتروفسكي Petrovsky ، وبيرو Bureau وسيتلماشير Stellmacher (1938) وغاردنغ Garding ولوراي J. (1951) Leray ومدام فوريس - بروها M^{me} Foures - Bruhat (1952) ، إلخ .

وعاد Leray ، بعد شاوذر Schauder و Petrovsky ، إلى وجهة النظر التحليلية التي قال بها Cauchy-Kovalevskaja ، فدرس الحالة الخطية حيث تتميز التعددية التي تحمل المعطيات ، في بعض من نقاطها فقط : إن الحل يمكن أن يُؤخذ شكلاً فيكون - إلا في حالات استثنائية - جبروياً (1957) .

ومن جهة أخرى ، وباستعمال تحويل لابلاس Laplace ، توصل Leray في حالات واسعة إلى حل حاسم وصريح لمسألة Cauchy (1958) .

إن كون مسألة Cauchy - المفترضة ممكنة - لا يمكن أن نجد لها إلا حلاً واحداً ، تحليلياً أم لا ، إذا كانت التعددية التي نحمل المعطيات غير مميزة ، هو أمر واقع ، منذ عمل قديم قام به هولمغرن Holmgren (1901) بالنسبة إلى حالة المعادلات الخطية ذات المعاملات التحليلية .

وهناك تقدم أساسي حققه لوي H. Lewy (1927) الذي وسع النتيجة فشملت المعادلات من النمط الهيربولي والمعادلات التحليلية من النمط الاهليلجي . وهناك أعمال مهمة حديثة حول هذه المسألة التوحيدية يعود الفضل فيها إلى كالديرون Calderon وهورماندر Hörmander .

النمط البارابولي والنمط المختلط - إن المثل الأبسط عن المعادلة البارابولية هي المعادلة : $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial u}{\partial y} = 0$. وهناك مسألة «جيدة الطرح» هي مثلاً المسألة التي تقوم على اتخاذ u على الأقسام الثلاثة من تخم المجال $0 \leq x \leq 1$ و $y \geq 0$. وجاءت ، بعد أعمال هولمغرن (1905) ، وليفي أعمال جيفري (1913 - 1918) التي تطبق على المعادلة البارابولية الخطية العامة وقد قدمت نتائج مهمة . والدور - في الحالة الاهليلجية - المتروك إلى الوظائف التحليلية ، ينتمي بقسم منه إلى وظائف $h(x)$ التي يجب مشتقتها p^α عن اللامعادلة :

$$|h^{(p)}(x)| < \frac{M \Gamma(\alpha p)}{p^p}$$

حيث $\alpha = 2$ و M و P تمثلان ثابتين إيجابيتين .

وبإعطاء α قيمة ما أعلى من 1 ، نحصل على طبقة من الوظائف تعمم طبقة الوظائف التحليلية ، أعطت منطقاً لأعمال مفيدة (E. Borel و A. Denjoy و T. Carleman) .

وفيما يتعلق بوحدة حلول المسائل ذات الحدود المطروحة ، قدم دوتش G. Doetsch توضيحات مفيدة . أن اسم تريكومى Tricomi قد اقترن (1928) بالمعادلة $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$ ذات النمط الاهليلجي في المنطقة حيث $y > 0$ ، والنمط الهيربولي في المنطقة حيث $y < 0$. إن المعادلات من هذا النمط المختلط تحتل دوراً مهماً في دراسة التسريبات عبر الصوتية . والمسائل التي تطرح نفسها علينا ترتدي صبغة وسط بين مسألتى Dirichlet و Cauchy (جيرمان P. Germain وبادر Bader ، 1953) .

الطرق العملياتية . التوزيعات - إن الطرق العملياتية عند هيفيسايد Heaviside (1892) استخدمت في بادئ الأمر دونما أساس رياضي كافٍ . وقد أمكن تبريرها ، في الكثير من الحالات بفضل التحول الشهير الذي قال به Laplace (دوتش 1937 ، فسان دربول (1920 - 1925) أو باستعمال التوظيفات fonctionnelles التحليلية (L. Fantappiè 1930) أو الوظائف المعممة عند سوبوليف Sobolev (1936) أو ، أخيراً باستعمال « التوزيعات » .

إن هذا المفهوم الأخير ، الذي أدخله L. Schwartz سنة 1945 (أنظر الفصل اللاحق) قد سبق وعرف نجاحاً ضخماً يتيح مثلاً العثور ، وبشكل طبيعي على « الأجزاء المتناهية » التي أدخلها Hadamard ، ثم النظر ، في ضوء جديد ، إلى العوامل التي أدخلها M. Riesz ، وإعطاء تعريف

عام لمفهوم « الحل الأولي » . واستعمل هذا المفهوم في الأعمال الجيدة التي قام بها J. Deny حول الزخم (1950) ، وفي نظرية المعادلات ذات المشتقات الجزئية (ليون Lions مسائل حول الحدود ؛ مالغرانج Malgrange وايرنبريس Ehrenpreis وهورماندر Hörmander : وجود وتقريبات الحلول ، 1955) .

تدخل الطوبولوجيا - إلى مسائل طوبولوجية ردّ لوراي وشاودر (1933) مسألة وجود حلول لبعض المعادلات الوظيفية المعثور عليها في مسائل ذات حدود متعلقة بمعادلات ذات اشتقاقات جزئية غير خطية . وكما هو الحال بالنسبة إلى معادلة جبرية $P(x) = k$ حيث تمثل P متعدد حدود معيناً ذا معاملات حقيقية ، وحيث تكون شفعية عدد الحلول مستقلة عن الثابت الحقيقية k ، كذلك الحال بالنسبة إلى بعض المعادلات الوظيفية غير الخطية ، يوجد عدد صحيح إيجابي أو سلبى أو عددي (مؤشر شامل) يبقى غير متغير عندما يتغير المعيار ، وتبقى الحلول محدودة في مجملها : من هنا أسلوب عام جداً للحصول على قواعد وجود . ان تعريف المؤشر الشامل أو الدرجة الطوبولوجية للتحويل المعبر عنه بـ : $y = x - F(x, k)$ في الصفر ، مشتق من أعمال بروور (1911) Brouwer ؛ وقد وسعه Leray وSchauder فاشملاء فضاءات أعم (اتجاهية ، ومعايرة ، وكاملة : فضاءات باناخ Banach) .

وطبقت الطريقة فعلاً على أمثلة كالمثل التالي : نفترض سطحاً له إطار معين ؛ مقابل كل وظيفة z للمتغيرين x, y نطبق الوظيفة Z التي تتخذ فوق الإطار القيمة z بشكل يناسب المعادلة الخطية :

$$a \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + 2b \frac{\partial^2 Z}{\partial x \partial y} + c \frac{\partial^2 Z}{\partial y^2} = f$$

حيث a, b, c, f هي وظائف معينة لـ x, y ، نفترض $a \cdot c - b^2 > 0$ بحيث أن وجود Z ينبثق عن أعمال قديمة قام بها Picard . ويمكن أن نكتب $Z = F(z)$ ، والأسلوب السابق يعرف نوعاً من التوظيفية (الدالية) fonctionnelle . وتؤدي مسألة تحديد حل للمعادلة غير الخطية (شبه خطية في الواقع) $a \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + 2b \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} + c \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = f$ ، باتخاذ قيمة z دائماً على الإطار ، تؤدي إلى المعادلة الوظيفية $z - F(z) = 0$.

في هذا المسألة يتوجب استخدام لا معادلات يوافقها الحل Z للمسألة المشار إليها أعلاه . أن أعمال H. Lewy وفريدريخ K. Friederichs (1928) مثلاً أدت خدمات جلّى .

ويشكل عام جداً ، استطاع J. Leray أن يكتب (1936) : « إن إثبات وجود حلول لمعادلة وظيفية يعني اعطاء زائدات للحلول التي قد تكون لهذه المعادلة . وحل معادلة ما يعني إيجاد حدّ أعلى للمجهولات وتوضيح مسارها الأكثر إمكاناً » .

وقد توصل J. Leray ، بالنسبة إلى الحالات غير الخطية ، إلى إعلان نتيجة مماثلة للبديل الكلاسيكي للحالات الخطية ، الذي قدمت عنه معادلة Fredholm أحد الأمثلة الأكثر بروزاً .

إن نظرية المعادلات التفاضلية ، ونظرية المعادلات ذات المشتقات الجزئية مرتبطتان بالعديد من النظريات الرياضية : طوبولوجيا ، زمر ، احتمالات ، تحليل وظيفي ، الخ . وهما مرتبطتان أيضاً وبشدة بدراسة العالم الخارجي : فالعلوم : جيومتريا ، ميكانيك ، فيزياء هي مرشحات ثمينة لطرح المسائل ومن أجل اكتشاف الحلول .

والدراسة السابقة تؤكد على هذا التضامن بين كل أقسام العلم الرياضي ، وعلى هذا الترابط الوثيق بين التحليل والفيزياء ، وهما [التضامن والترابط] أمران شدد عليهما كثيراً D. Hilbert و II. Poincaré .

التحليل الوظيفي والتحليل العام

I - التحليل الوظيفي

حتى نهاية القرن التاسع عشر ، قلما جرى درس وظائف أخرى غير الوظائف العددية المتعلقة بمتغير واحد أو عدد محدد من المتغيرات العددية ، وهي وظائف سوف يسهل علينا ، فيما بعد ، أن نسميها « الوظائف العادية » . ولكن في هذه الأثناء بدىء بالاهتمام بوظائف عددية خاصة ، تتعلق بعدد لا متناه من المتغيرات العددية .

ويبدو أن فيتو فولتيرا Vito Volterra هو الذي قام بالدرس المنهجي (الذي بدأه في القرن التاسع عشر وتابعه في القرن العشرين) للوظائف العددية المتعلقة أما بمنحن ، أو بوظيفة عادية . وسمى الأولى « وظائف الخطوط » ؛ وسمى هادامارد الأخرى « كوظائفية » . إن الدراسة العامة لهذه الوظائف الجديدة كانت أول موضوع للتحليل الوظيفي .

يجب أن نلاحظ أنه كان بالإمكان الحصول بصورة أبكر بكثير على مفهوم وظائف الخطوط . إذ أن المساحة A لمنحن مسطح مغلق C هي وظيفية يمكن تمثيلها بـ $A[C]$. وعثر المحللون في القرن الثامن عشر على نمط جديد عندما بحثوا في تحديد ذروة (Extremum) متكاملة : $I(y) = \int_0^1 f(x, y, \frac{dy}{dx}) dx$ (1) ، وهي شكل عام من التعابير الخاصة نجدها في الميكانيك وفي الفيزياء .

و $I(y)$ هي حقاً وظيفة عددية متغيرها وظيفة « عادية » قابلة للاشتقاق $y(x)$. وبالنسبة إلى هذه المتكاملة ولأخرى غيرها أعم ، أبحاث دراسة حساب التغيرات « بوجه واسع » والتي قام بها مورس M. Morse ، تجاوز النتائج السابقة التي كانت تهتم « بالأدنى » المحلي بحثاً عن « أدنى » لا يكون كذلك ، فقط بجوار حل محدد ، إنما على أن يكون أدنى في مجال محدد سابقاً .

واستطاع آبليل Abel وفولتيرا وفرد هولم Fredholm تعريف وحل « المعادلات المتكاملة » . وكان لا بد من تحديد الحلول ، y ، في معادلة $J[y] = 0$ وفيها تكون $J(y)$ وظيفية هي ، في حالة فرد هولم ، من الشكل $J[y] = y(x) + \int_0^1 K(x, t) y(t) dt - f(x)$ حيث K و f هما وظيفتان معطيتان .

وقد درست الحالة الخاصة المتعلقة بالمعادلات المتكاملة التناظرية : $K(x, t) = K(t, x)$ بنجاح من قبل Hilbert وشميدت E. Schmidt .

إنما كان هناك مجال لعدم الإكتفاء بهذه الأنماط الخاصة من الوظائف . وهكذا تيسر السبيل إلى البحث ، كما طلب أولاً J. Hadamard ، عن إمكانية توسيع نظرية الوظائف العادية ، لتشمل الحالة التي لا يكون فيها المتغير أو المتغيرات عدداً أو أعداداً .

وكان من الواجب ، بشكل خاص ، تعميم مفاهيم الاستمرارية ، والمشتق ، والمتفاضل والمتكامل ، ومتعدد الحدود والوظيفة التحليلية ، الخ .

وقد سبق ، منذ بداية حساب المتغيرات ، الاحساس بضرورة اشمال الوظائف من النمط (1) مفهوم المشتق . وعُرف لاغرانج . وأولر Euler ، في هذه النظرة ، ما يسمى « بالتغير » في وظيفة $\Phi [z(x)]$ وهي ليست إلا المشتق بالنسبة الى معيار Paramètre عددي إضافي $\Phi [z(x), \alpha]$ وفيه تكون $\alpha = \alpha_n$ حيث $z(x, \alpha_n) = z(x)$.

إن هذا الإدخال قد أتاح وضع شروط مهمة لوجود ولتحديد أدنى $|y|$ المحدد بـ (1) . ولكن هذا لم يكن إلا الخطوة الأولى ، لأن هذا الإدخال لم ينجح في الحصول على الشروط الضرورية والكافية . وكان لا بد من التعميم بشكل أكثر دقة ، كما سنرى فيما بعد ، في مفهوم المشتق ، أو المتفاضل ، وبالعكس ، تم الحصول على تعميم مرضٍ للوظائف « العادية » من الدرجة الأولى ، تحت شكل وظائف خطية ، أي ، سنداً لـ ج . هادامارد ، للوظائف التي هي توزيعية أو مستمرة . وتم أيضاً النجاح في تمثيل هذه الوظائف الخطية بشكل واضح في متكاملة ضمن حالتين مهمتين ، حالتين يكون فيهما المتغير متممياً إلى الفضاءات الوظيفية (1) . (رايز وفريشه) و (رايز) المحددة فيما بعد .

وبصورة أعم ، عمم M. Fréchet مفهوم متعددات الحدود وذلك بإطلاق اسم وظيفيه من المرتبة الصحيحة الكاملة n على الوظيفية المستمرة (في الحقل الوظيفي المعتبر) والتي يكون فيها « الفرق في المرتبة n » هو عدم بالمماثلة . واقترح ميشال A. Michal تعريفاً آخر مفيداً لنفس الغاية .

وأدخل ف . رايز تعميماً مفيداً حول تلاقي سلسلة من الوظائف في فضاء وظيفي E ، وكذلك توسيعاً مفيداً جداً لفكرة الاستمرارية .

وقال أن الوظيفة $f_n(x)$ المتعلقة بـ E تنحو قليلاً نحو $f(x)$ من E إذا كان العدد l, l_n يتجه نحو l, f مهما كانت الوظيفية الخطية L المحددة فوق E . وبُين ، عندما تكون $l_2 = l_1$: إنه كي تتجه سلسلة f_n ، متجهة قليلاً نحو f ، أيضاً نحو f بالمعنى العادي للحد في E ، فمن الواجب ومن الكافي أن تتجه $\|f_n\| \leftarrow \|f\|$ (معيار f_n نحو معيار f) .

يقول ف . رايز ، أيضاً ، أن التحويل $\varphi(x) = T f(x)$ من عنصر f من l_2 ، إلى عنصر φ من

I_2 هو مستمر تماماً إن هو حوّل كل مجمل لا متناهٍ تحدّه وظائف من I_2 ، إلى مجمل متراص من وظائف من I_2 .

ولكن مثل وظائف الخطوط يدعو إلى عدم الاقتصار على الحالة التي يكون فيها متغير الوظيفية هو وظيفة « عادية » وإلى توسيع حقل التحليل الوظيفي حتى يشمل دراسة الوظائف العددية التي يكون متغيرها عنصراً مجرداً ، أي عنصراً من أي طبيعة .

وبدون أي تحديد آخر ، اعطى M. Fréchet ، سنة 1915 ، التعريف الأول والعديد من خصائص متكاملة وظيفية تمتد فوق مجموعة مجردة ، دون اقتراض تزويد هذه المجموعة بطوبولوجية ما . كان هذا التعريف توسيعاً لحالة المجموعات المجردة في تعريف متكاملة رادون الموسعة لتشمل مجموعة ذات عدد متناهٍ من الأبعاد . وقد ألحق هذا التعريف بتعريف آخر مختلف تماماً من قبل دانييل Daniell ، ثم عشر عليه من جديد نيكوديم Nikodym واستكماله هذا الأخير بقاعدة مهمة حول الاشتقاق .

وبالعكس ، أن اشمال التحليل الوظيفي بالمفاهيم الأخرى المنظورة (استمرارية ، الخ .) يتطلب ، كما أشار إلى ذلك J. Hadamard ، تعميماً لمفهوم الحد ، وتعريفاً لطوبولوجية في فضاء تجريدي . ولكن لما كان توسيع هذه المفاهيم حتى تشمل الحالة التي سوف تعالج (والتي هي موضوع « التحليل العام ») لا تعترضه أية صعوبة جديدة ، فسوف نكتفي بوصف هذا التوسيع الأكثر عمومية .

II - التحليل العام

إن الرياضيات الكلاسيكية تعطي أمثلة عن وظائف $Y = G(y)$ حيث لا يكون Y ، ولا y ، عدداً ، ولا نقطة في فضاء ذي عدد محدد من الأبعاد .

ذلك هو « تغير Laplace » $Y(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{ixy} (t) dt$ حيث Y مثل y هي وظائف « عادية » x أو t (المعقدين عند اللزوم) ولكن حيث Y يمكن أن تكون أيضاً كوظيفة لـ y من نمط جديد.

وهكذا نقاد إلى تصور فائدة نظرية تحولات عناصر z ذات الطبيعة غير المحددة إلى عناصر Z من طبيعة غير محددة أيضاً ، تحولات يمكن اعتبارها أيضاً كمحددة كل منهما بوظيفة $Z = \Phi(z)$. ودراستها هي موضوع النظرية المسماة « التحليل العام » .

وكما هو الحال بالنسبة إلى التحليل الوظيفي ، هناك مجال لمحاولة تعميم المفاهيم الكلاسيكية حول الاستمرارية والاشتقاق (أو التفاضل) والتكامل ، ومفاهيم متعلّقات الحدود ، وعدد الأبعاد ، الخ . بموجب هذه النظرية الجديدة . ويتدخل في كل هذه المفاهيم - ضمن التحليل الكلاسيكي - مفهوم حد سلسلة من الأعداد . إن هذا المفهوم إذاً هو الذي يتوجب تعميمه أولاً ، وبالتالي من هنا بالذات ، تأسيس « طوبولوجيا » الفضاءات المجردة .

إن الطوبولوجيا هي دراسة التحولات المستمرة التي يمكن تعريفها كما يلي :

نفترض \mathcal{E} مجموعة عناصر مجردة ، مجموعة نريد أن نجعلها سنداً لفضاء مجرد . لنربط ، « بشكل ما » بكل « مجمل فرعي » E من \mathcal{E} مجموعة E' تحتوي على E ونسميها مجموعة تسكير E . أن كل عنصر x من E' يسمى ملاصقاً لـ E . نفعل نفس الشيء بالنسبة إلى مجموعة \mathcal{F} ، سنداً لفضاء مجرد (متميز أو غير متميز) عن الأول .

نفترض الآن $Y = \Phi(y)$ تحولاً لعنصر ما y متمم إلى مجموعة فرعية E من أصل \mathcal{E} ، إلى عنصر Y من \mathcal{F} . ولتكن F مجموعة هذه التحولات Y من عناصر E . فنقول أن $\Phi[y]$ مستمر فوق E عند النقطة y_0 - عندما تكون y_0 ملاصقة لمجموعة فرعية E_0 من E - إذا كان العنصر المطابق ، Y_0 ، مجاوراً للمجموعة E_0 من العناصر Y المطابقة لعناصر E_0 .

نرى في الحال أنه في الحالة التي تكون فيها \mathcal{E} و \mathcal{F} فضاءين ديكارتيين ، لكلّ منهما عدد محدد من الأبعاد ، فإنّ هذا التعريف مطابق للتعريف الكلاسيكي ، إذا كان x الملاصق لـ E يعني أن x وحده ، بالمعنى المألوف لسلسلة معدودة من عناصر E . ويبدو هذا التعريف العام هكذا معقولاً .

وفي كل المرات التي يمكن فيها اعطاء تعاريف تبدو معقولة عن التلاصق وعن الاستمرارية ، يمكن أن نبني على هذين طوبولوجيا معينة . ولهذا تستحق \mathcal{E} و \mathcal{F} تماماً اسم « الفضاءات الطوبولوجية » . وبالتأكيد ، كلما زاد فرض القيود على اختيار مجملات التسكير ، كلما زادت فرص الحصول على خصائص جديدة .

وعلى كل ، يمكن تقديم مثل بسيط يتيح فيه هذا التعريف العام جداً تعميم مفهوم رئيسي ، دون أن تحد قيود جديدة هذا التعميم .

عدد الأبعاد - نستعمل عموماً تعريفاً لعدد الأبعاد في فضاء مجرد لا يعطي إلا أرقاماً محددة ، وبالتالي لا يطبق على كل الفضاءات المعتبرة في التحليل الوظيفي . في ما مضى أعطى م . فريشيه تعريفاً لعدد الأبعاد ، الذي يتيح تمييز عدة أرقام لا محدودة من الأبعاد وبالتالي يلعب دوراً مفيداً في التحليل العام .

نفترض A و B مجموعتين تنتميان تبعاً إلى فضاءين طوبولوجيين (بالمعنى العام جداً الموضح أعلاه) .

نقول أن عدد الأبعاد في A هو على أكثر تقدير يساوي عدد أبعاد B إذا كانت هناك هوميومورفية (أي تطابق مزدوج الفعالية ومزدوج الاستمرارية) بين A و B أو قسم من B ، وعندها نكتب $dA \leq dB$. ويكون لـ A و B نفس الأبعاد إذا كان لدينا ، فضلاً عن ذلك $dA \leq dB$ ، وإلا نكتب $dA < dB$.

فإذا كان ذلك نفترض R_n الفضاء الديكارتي ذا الأبعاد بعدد n ، و C فضاء الوظائف العادية المستمرة، و D_n فضاء وظائف المربع القابل للجمع مع طوبولوجياتها الكلاسيكية، الخ. يمكن اثبات إنه إذا كان $dR_n > dR_p > dR_m; p > n$ بحيث أن يكون لـ C عدد لا متناه من الأبعاد. فضلاً عن ذلك، إن عدداً كبيراً جداً في الفضاءات ذات العدد اللامتناهي من الأبعاد، والتي هي مدروسة جداً، له نفس العدد اللامتناهي من الأبعاد: $dC = dD_n = \dots$ وأخيراً، إن هذا العدد (اللامتناهي) من الأبعاد ليس هو الأكبر. وحتى في حالة عدد محدد من الأبعاد، يتيح هذا التعريف تصنيفاً لمجموعات تتراوح أعداد أبعادها بين العددين الصحيحين n و $n+1$.

التفاضلية - هنا، بالعكس، يجب اللجوء إلى طوبولوجيات أقل عمومية. ورغم أنه من الممكن توسيع هذا الحقل من الصلاحية، فإننا نقيم في حالة التحول $X = F(x)$ حيث x و X تنتمي إلى فضاءين (اتجاهيين متباعدين) متميزين أم لا.

ونقول أن $F(x)$ له تفاضلية عند $x_0 = x$ ، إذا وجدت وظيفة خطية $[Ax]$ لا للتزايد Δx الحاصل لـ x بحيث يكون المعيار $\|F(x) - [Ax]\|$ لا متناهي الصغر بالنسبة إلى المعيار $\|\Delta x\|$ ، وعندها تكون $[Ax]$ تفاضلية $F(x)$.

وقد أشمل م. فريشه ضمن هذه التفاضلية، الخصائص الرئيسية التي للتفاضلية الكلاسيكية. وعلى أساس نفس هذا التعريف استطاع A. Michal ادخال الفضاءات المجردة ضمن نظرية المعادلات التفاضلية الكلاسيكية، كما أن Nevanlinna ادخل عليها ملحقاً مهماً.

عندما تكون $F(x)$ قابلة للتفاضل بالمعنى السابق وإذا كان x وظيفة قابلة للتفاضل من معيار عددي t نحصل على $dF(x)/dt = [dx/dt]$. إن هذه الخاصية هي التي اتخذها J. Hadamard كتعريف $F(x)$ في حالة تكون فيها F وظيفة عادية لنظام x من عدد متناهي من المتغيرات العددية. في هذه الحالة الخاصة، يكون التعريفان متساويين. وقد وسع هذا التعريف من قبل M. Fréchet فشمّل الحالة التي يكون فيها x و F ضمن فضاء اتجاهي متباعد. وهو [أي التعريف]، في هذه الحالة، أكثر عمومية، ومميز عن السابق من ناحية إنه أكثر عمومية.

التكامل - وسع بوشنر Bochner تعريف تكاملية $X = F(x)$ فاشملها الحالة التي يكون فيها، ليس x فقط بل X أيضاً عنصرين مجردين، متممين إلى فضاءين اتجاهيين متميزين. وتعريفه هو مآل التعاريف الأكثر عمومية التي قال بها Lebesgue و Stieltjes و Fréchet و Radon.

وبالعكس استطاع بيتيس Pettis أن يعطي، في هذه الفضاءات، تعريفاً مختلفاً تماماً، مرتكزاً على المعادلة: $I\mathcal{L}[F(x)] = \mathcal{L}I[F(x)]$ حيث I هي المتكاملة التي يجب تعريفها. وهي معادلة يجب توفيرها مهما كانت الوظيفة الخطية $\mathcal{L}(X)$.

هذان التعريفان يستعملان، بصورة خاصة، في حساب الاحتمالات لدراسة العناصر العشوائية من أي طبيعة كانت.

III - نظرية التوزيعات

(إن خلاصة تطوّر نظرية التوزيعات تعود إلى J. L. Lions) . في نظرية المعادلات ذات المشتقات الخطية أو غير الخطية ، أثبتت ضرورة اعتبار « الحلول » التي ليست وظائف اشتقاقية ، بالمعنى المعتاد ، من قبل Leray وسوبوليف Sobolev وFrédéricks وSobolev هو الذي فكر بإدخال المشتقات المعممة . واليك موجز عن هذه الفكرة : فوق المستقيم R ننظر إلى الوظيفة f عندما تكون دوماً اشتقاقية . ونفترض f' ، مشتقها ، ثم نفترض فيما بعد وظيفة φ أيضاً عندما تكون دوماً اشتقاقية ، ويكون مشتقها φ' ، باعتبار φ معدومة خارج متراس من R ، عندها :

$$\int_R f' \varphi \, dx = - \int_R f \varphi' \, dx$$

لنعتبر الآن الوظيفة f محلياً قابلة للجمع فوق R (وإذاً عموماً غير اشتقاقية) . نلاحظ مع ذلك أن الشق الثاني من المعادلة المذكورة أعلاه هو دوماً محدد ، من هنا فكرة أن الشكل الخطي الوظيفي الذي يعطي L - φ الوظيفة $\int_R f \varphi' \, dx$ ، يجب ، بشكل من الأشكال ، أن يحدد تعميماً للمشتق المعتاد L - f وبالتالي تحديد f لا كوظيفة بل كعنصر من فضاء أوسع - كوظيفة معممة .

إن ضرورة ادخال كائنات جديدة أكثر عمومية من الوظائف الكلاسيكية يتم أيضاً الشعور به في العديد من الفروع الأخرى من الرياضيات : نظرية السطوح المعممة (يونغ L. C. Young) ، التحليل الهارمونيكي (Bochner) الفيزياء النظرية والحساب الرمزي (« وظيفة » Dirac) .

وعلى كل ، وأثناء بدايات بحوث Sobolev في هذا الاتجاه ، لم تكن النظرية المجردة للفضاءات الموجهة الطوبولوجية ، بعد ، موضحة تماماً بحيث يمكن استخلاص مفهوم الوظيفة المعممة إلا من خلال حالات خصوصية . وإلى L. Schwartz (1945) يعود التعريف العام للوظائف المعممة أو التوزيعات ، كأشكال خطية مستمرة في فضاء الوظائف التفاضلية إلى ما لا نهاية وذات السند المتراس ، هذا الفضاء - وهنا نقطة أساسية - مزود بطوبولوجيا ذات حد حثي من فضاءات Fréchet . ودرس L. Schwartz بشكل مفصل ، بعد ذلك ، هذه الكائنات الجديدة - القريبة ، فضلاً عن ذلك ، من عوامل Mikusinsky - فحصل على القاعدة المهمة جداً حول النوى .

وتؤكد هذه القاعدة - بشكل مختصر - بأن كل تطبيق خطي مستمر لفضاء وظيفي E (فوق فضاء إقليدي X) ضمن فضاء وظيفي F (فوق فضاء إقليدي Y) يعبر عن نفسه ، وبشكل وحيد ، بالمعادلة :

$$U_0(x) = \int_Y N(x, y) e(y) \, dy$$

وفيها : $Ue \in F, e \in E$ وحيث $N(x, y)$ (نواة تطبيق U) هي توزيع على الفضاء حصيلة ضرب X بـ Y .

إن هذه القاعدة هي نقطة الانطلاق في بحوث غروتنديك A. Grothendieck حول

« الفضاءات النووية » ؛ ومن جهة أخرى طوّرت أفكار L. Schwartz وأكملت من قبل غلفاند Guelfand ومدرسته في الاتحاد السوفياتي .

وهناك عائق في هذه النظريات هي انها خطية ؛ وقد جرت محاولات متنوعة من أجل مضاعفة التوزيعات - وبشكل خاص تحت تأثير الفيزيائيين النظريين - ولكن النجاحات في هذا الاتجاه كانت محدودة .

وبالمقابل ، وفي المسائل الخطية المتعلقة بالمعادلات ذات المشتقات الجزئية وهي معادلات متكاملة ، في نظرية الزخم وفي نظرية الاجزاء المنتهية المسنوبة إلى Hadamard والحلول النموذجية (أو الأساسية) في نظرية حصيلة التركيب ، وفي تحويل Laplace و Fourier ، في التحليل الهارمونيكي ، وفي نظرية تمثيلات زمرة Lie وفي النظرية المجردة حول الفضاءات الموجية الطوبولوجية ، كانت تطبيقات النظرية المستحدثة كثيرة العدد سابقاً ، ولكنها غير مستفدة على الاطلاق .

الجيومتريا

عرف القرن التاسع عشر تقدماً ملحوظاً في الجيومتريا . وأدت أفكار كلاين F. Klein وهـ . بوانكاريه ، بشكل خاص ، إلى تصنيف الجيومتريا تصنيفاً بدا خصباً .

الجيومتريا هي دراسة خصائص الأشكال التي لم تشوه بالتحويلات من زمرة G ، أي من مجموعة تحويلات بحيث إذا تم على التوالي إجراء اثنتين من هذه التحويلات T و T' نحصل على تحول (حصيلة $T' T$) ينتمي أيضاً إلى المجموعة . فضلاً عن ذلك ، ان عكس (T^{-1}) التحول ينتمي أيضاً إلى المجموعة (مفهوم منسوب إلى Galois) . إن الزمرة G هي الزمرة الرئيسية أو الأساسية في الجيومتريا المدروسة . وهكذا تكون الزمرة الأساسية في الجيومتريا المترية هي زمرة التنقلات . وان أعدنا الفضاء إلى نظام مجسم ثلاثي الزوايا القائمة ، وإن أخذنا نفس الوحدة القياسية على المحاور الثلاثة ، فإن تحويلات الزمرة يعبر عنها بنفس الصيغ التي تعبر عن تحويلات الإحداثيات . ان المجموعة الأساسية في الجيومتريا الاسقاطية هي مجموعة الهوموغرافيات ؛ إنها مجموعة الاستبدالات الخطية التي تتناول أربع متغيرات متسقة .

في الامثلة السابقة ، بدت الزمر المدروسة مستمرة ، أي أن الكميات التي تدخل ضمن معادلات التحويلات قد تتغير بشكل مستمر . وقد تم أيضاً درس زمر أخرى .

في سنة 1866 ، أدخل كريمونا Cremona التحويلات الثنائية الجذر .

إنها تحويلات توفق عموماً بين نقطة ونقطة واحدة فقط ، والعلاقات بين نقطتين قريتين يُعبر عنها بوظائف جذرية . وتشكل هذه التحويلات زمرة ، ولكن كما تظهر في معادلات التحويلات اعداد صحيحة ، فالزمرة تكون غير مستمرة . والجيومتريا التي تكون زمرة كزمرة أساسية هي الجيومتريا الجبرية . وهي تقوم على توزيع الرسوم إلى طبقات ، ويعتبر رسمان من نفس الطبقة ، إذا أمكن الانتقال من احدهما إلى الآخر بتحول ثنائي الجذر . ويتوجب عندها تمييز كل طبقة « بنموذج اسقاطي » .

ولكنّ الجيومترين ذهبوا إلى أبعد من ذلك . فوضعوا في نفس الطبقة الكائنات الجيومترية ، بحيث يمكن الانتقال من واحد إلى آخر بتحول ثنائي الجذر ، دون أن يكون هذا التحول قادراً على الامتداد إلى القضاة المجاورة . وعلى هذا فالمنحنى الجبري الأيسر واسقاطه فوق سطح ينتميان عموماً إلى نفس الطبقة . ضمن هذه الزاوية تعتبر دراسة المنحنيات الجبرية من صنع القرن التاسع عشر ، ولكن دراسة السطوح الجبرية لم تكن أبداً قد انتهت . وعولجت المسألة ليس فقط عن الطريق الجيومترى ، بل أيضاً بواسطة الوسائل التحليلية وخاصة من قبل Picard وهمبرت G. Humbert وفيما بعد من قبل H. Poincaré .

وتعزى وجهة النظر الجيومترية ، بصورة رئيسية ، إلى C. Segre M. Noether وبرتيني E. Bertini وإريكس F. Enriques وكاستلنوفو G. Castelnuovo وسيفيري F. Severi . أما « نظرية الوظائف الجبرية لمتغيرين مستقلين » والتي قال بها É. Picard وميمار G. Simart (مجلدان ، باريس 1897 - 1906) فتحدد ما قدمه القرن التاسع عشر .

وركز Riemann الجيومترى على مفهوم المسافة . هذه الجيومترى لا تدخل ضمن تصنيف Poincaré و Klein . وهذه الثغرة استدركها فيما بعد Élie Cartan . أما الجيومترى المتناهية الصغر ، التي أسسها جيومتريو « الثورة الفرنسية » (مونج Monge ومونييه Meusnier ودويان Dupin الخ) ، من جهة ، وغوس Gauss من جهة أخرى ، فقد أصابها في القرن التاسع عشر تطور ضخم . وهذا التطور تّثبت في « دروس حول النظرية العامة للسطوح » التي وضعها G. Darboux (باريس 4 مجلدات 1887 - 1896) وفي « الجيومترى التفاضلية » من وضع ل . بيانكي L. Bianchi (بيزا ، مجلدان 1902 - 1903) .

الجيومترى الاسقاطية - وضعت الجيومترى الاسقاطية في القرن التاسع عشر في فضاء ذي عدد غير محدد من الأبعاد . يمكن بناء فضاء اسقاطي ذي n بعد بالنظر إلى مجملات منتظمة اعدادها $n + 1$ ، متناهية وليست كلها معدومة . مثل هذا المجمل يسمى نقطة أما الاعداد $n + 1$ فهي إحداثياته المتجانسة . وقد تم الاصطلاح على أن نقطتين تتطابقان إذا تناسبت إحداثيتهما . ومجموع هذه النقاط هو فضاء اسقاطي ذو n بعد ، والكتلة الأساسية هي مجموعة الهوموغرافيات ، أي مجموعة البدائل الخطية المتجانسة المحمولة فوق الإحداثيات .

في البداية كانت تنتمي الإحداثيات ومعاملات الهوموغرافيات إلى حقل الاعداد الحقيقية أو الاعداد المعقدة ، وفيما بعد تم بناء جيومتريات تنتمي اعدادها المستعملة إلى أي حقل . وعلى هذا تم بناء هندسة كواترنيونية [الكواترنيون يعني في الرياضيات عدداً شديداً التعقيد متكوّناً من اجتماع أربعة أعداد عادية ، تؤخذ ضمن ترتيب محدد وتتمازج وفقاً لبعض القوانين] وجيومترية هرميتية (نسبة إلى هرميت Charles Hermite 1822 - 1901) ، الخ . ونظراً أيضاً إلى الجيومترى المستفدة من الجيومترى المعقدة بادخال تحول المتزاوجات ، هذا التحول الذي يطابق نقطة ما مع نقطة تكون إحداثياتها الخياليّتين متزاوجتين مع إحداثيتي النقطة الأولى (كومساتي A. Comessatti ، E. Cartan) .

إن الجيومترىات الاسقاطية المبنية فوق حقل من الاعداد تجد تطبيقاً لها في جيومتريات الزمر المنتهية المنسوبة إلى Lie ، وهي زمر صنف من قبل Lie و كيلينج Killing وخاصة من قبل E. Cartan . والمشكلة المطروحة هي بناء جيومتريا تكون زمرةها الأساسية إحدى زمر Lie . لا شك بوجود عدد لا حد له من الحلول والمهم هو اختيار اسطها . هذه الزمرة المحلولة في حالة الزمر البسيطة ، من قبل E. Cartan ، كانت موضوع بحث من قبل H. Weyl وحديثاً من قبل شوفالي Chevalley وتيتس Tits .

وهناك بحث أخرى في الجيومترى الاسقاطية في المجال المعقد ، تناول دراسة الكائنات الجبرية ، وخاصة التمثيل بواسطة نماذج من الاشكال الجبرية المعادلة للمصفر . هذه المسائل ، وكذلك المسائل التي تناول منوعات C. Segre ، وهي حاصلات ضرب العديد من الفضاءات الخطية ، تبدو مفيدة في الجيومترى الجبرية .

الجيومتريا الجبرية - كما سبق القول عولجت دراسة السطوح الجبرية بالطريقة التجاوزية (متكاملات Picard والمتكاملات المزدوجة) وبالطريقة الجيومترية (عمليات تناول أنظمة المنحنيات المرسومة فوق سطح) . وعملت بعض المؤشرات على الظن بأن السطوح التي تحتوي على متكاملات Picard من الصنف الأول تتطابق مع السطوح المتضمنة أنظمة مستمرة غير خطية من المنحنيات . إن الجهود المتزاوجة التي بذلها بيكار دو همبرت وبصورة خاصة F. Enriques و Severi أدت إلى نتيجة ليست فقط نوعية ، بل كمية أيضاً (1905) . وفيما بعد (1910) ، اثبت H. Poincaré بطريقة تجاوزية هذه النتيجة ، وكانت هذه التصورات نقطة الانطلاق في بحث Lefschetz المهمة .

ووسعت الجيومترى الجبرية حتى شملت أنواعاً ذات أبعاد عدة . وطرحت مسألة : في طبقة من المنوعات الجبرية ، هل يوجد نوع مجرد من النقاط الفريدة ؟ بالنسبة إلى المنحنيات ، يكون الجواب التأكيدي سهلاً ؛ وفيما خص السطوح يكون أصعب بكثير وقد قدمه B. Levi . وبالنسب إلى الأنواع من ذوات الأبعاد الثلاثة ، فهي تعزى إلى ولكر Walker ، ولكن جهود الجيومترين لم تنجح في تجاوز هذه المرحلة .

وهناك مسألة أخرى تقوم على دراسة المنوعات الجبرية ذات النقاط التي تكون إحداثياتها وظائف جذرية للبارامتر [البارامتر هو عنصر ثابت في عملية فكرية ما ، وفي المعادلات هو الحرف ، غير المتغير ، والذي يمكن اختيار قيمته العديدة وإبقاؤها ثابتة] . وعندما يكون المتنوع منحنى فهو جذري (كليش Clebsch) ؛ وإذا كان سطحاً فهو أيضاً جذري (Castelnuovo) ، ولكن التبين يستجد باعتبارات أعلى بكثير . وعند الانتقال إلى المنوعات ذات الأبعاد الثلاثة ، تدل بعض الأمثلة أن المتنوع ليس بالضرورة جذرياً . إن هذه المسألة تقترب من مسألة تحديد شروط جذرية المتنوع الجبري . وقد حلت هذه المسألة بالنسبة إلى سطوح Castelnuovo ، ولكن البحوث المفيدة التي قام بها فانو Fano حول المنوعات ذات الأبعاد الثلاثة دلت على عظم تعقيداتها .

إن الدراسة الجيومترية للسطوح الجبرية ، والتي وضع قواعدها Enriques ، في أواخر القرن التاسع عشر ، قد توسعت من قبل الجيومترين الإيطاليين (Enriques و Castelnuovo و Severi وتلاميذهم) ؛ وكان هدفها الوصول إلى تصنيف للسطوح . ولكن عندما يتم الحصول على خصائص سطح ما ، فمن الواجب إثبات وجوده وذلك ببناء نموذج إسقاطي له . هذه المسألة استرعت انتباه العديد من الجيومترين ، وقدمت نظرية الترقية أو التضامن [involutions وهي تعني هوموغرافية متعكسة أي التحول الدقيق وفيه تكون صورة كل مستقيم مستقيماً آخر (الترجمة)] ضمن سطح جبري نتائج عدة .

عندما نسطح سطحاً جبرياً $f(x, y, z) = 0$ ، من نقطة في اللانهاية من Oz فوق سطح x, y نحصل على ما يسمى بالسطح المضغف ، والمحيط الظاهر يسمى منحني التشعب (diramation) في سطح مضغف . وبالطبع نعطي لأنفسنا أيضاً بدائل الوظيفة $z = z(x, y)$ في جوار نقطة من المنحني . وقد جذبت هذه المسألة انتباه Enriques ، وشيزيني Chisini وتلاميذه . وكانت بالنسبة إلى Chisini فرصة لاعطاء تمثيل أنيق وطوبولوجي للمنحنيات الجبرية .

إن نظرية الوظائف الايبلية قابلة للتأويلات الجيومترية ؛ وعلى هذا أدخل Picard المنوعات التي تكون إحداثيات نقاطها وظائف آيبلية (نسبة إلى Abel) . هذه المنوعات تدخل بالطبع ضمن نظرية السطوح كمثلة للأنظمة الخطية المنتمية إلى نظام مستمر من المنحنيات المرسومة فوق سطح غير منتظم (Castelnuovo) ؛ وقد سميت بمنوعات Picard . والحالة التي تكون فيها منوعة Picard سطحاً قد درست جيومترياً من قبل Enriques و Severi ، وتحليلياً من قبل بانيسيرا Bagnern ودي فرنشيس De Franchis (ويجب التذكير هنا بدراسات G. Humbert حول سطح كومر Kummer) . وإلى جانب بحوث Castelnuovo و Lefschitz المهمة استعمل كوتي Cotty ، سكورزا G. Scorza وروزاتي Rosati التمثيلات الفضائية للمتكاملات الايبلية وحلقات من سطح Riemann بدت [أي الحلقات] مشفرة . وحديثاً جداً قدم سيغل Siegel وكونفورتو Conforto وفيل A. Weil مساهمات جديدة للدراسة هذه الوظائف .

في البحوث السابقة ، كانت الأرقام المدروسة معقدة ، ولكن تم أيضاً النظر في الأقسام الحقيقية من الكائنات الجبرية . هذه المسألة ، التي طرحها هارناك Hilbert و Harnack ، قد درست في حالة المنحنيات من قبل بروزوتي Brusotti ، وفي حالة السطوح من قبل كوميساتي Comessatti وتلاميذهما . وقد حصلوا على نتائج مفيدة تماماً . وقد درس Comessatti أيضاً المنوعات الايبلية الحقيقية .

إن نظرية المنوعات الجبرية قد هوجمت من خلال طرق أخرى . إحدى هذه الطرق ، ترتبط بنظريات الجبر الحديث . وهي تركز على قاعدة Hilbert وبموجبها يعبر عن السطوح الزائدة (Hypersurfaces) ، التي تحتوي منوعة جبرية معينة في فضاء إسقاطي معقد ، خطياً بواسطة عدد محدد منها (نظريات حلقات متعددة الحدود) .

من جهة أخرى بنى A. Weil و Chevally و Zariski ، خاصة ، الجيومتريا الجبرية على أسس جديدة ، محاولين ادخال مزيد من الدقة في التحليلات العقلية . وفي بعض من هذه الأعمال ، يضع الباحث نفسه في حقل من أي نوع .

الجيومتريا المنتهية الصغر والجيومتريا الاسقاطية التفاضلية - من المسائل التي لفت الانتباه إليها Bianchi و Darboux هي مسألة بلاتو Plateau ؛ وتقوم هذه المسألة على البحث عن سطح أصغر يمر بإطار معين (سطوح محققه فيزيائياً من قبل Plateau بواسطة سوائيل ممزوجة بالغليسرين) . ودرست هذه المسألة من قبل S. Bertein و Haar و Garnier وحلها رادوس Rados و Douglas .

إن نظرية المجسم الثلاثي المتحرك ، والتي ادخلها ريبوكور Ribaucour قد استخدمت من قبل Darboux بنجاح كبير في دراسة المنحنيات والسطوح . وقدم دومولان Demoulin توسيعات لها فاشملها القضاات المتوافقة والاسقاطية ؛ وقدم تعميمات عنها بصورة أوسع E. Cotton و خاصة E. Cartan الذي طبق عليها نتائج حول بنية الزمر المستمرة .

إن تشويه السطوح كان موضوع العديد من التعميمات .

يُنظر في الفضاء إلى زمرة أساسية G وإلى سطحين S و S' . وإذا أمكن إحداث تطابق حرفي بين S و S' ، بحيث يمكن حمل جزءين لامتناهيين الصغر ومتماثلين في السطحين ، على التطابق مع اللامتناهيات الصغر من مرتبة $K + 1$ تقريباً ، بواسطة تحويل في G (متغير بتغير الأجزاء المدروسة) ، عندها يقال إن S و S' شوهان من مرتبة K أحدهما عن الآخر ، بالنسبة إلى المجموعة G . وإذا كانت G هي مجموعة التقلات ، وإذا كانت $K = 1$ ، عندها نعر على السطوح القابلة للتطبيق .

ونظر فوبيني Fubini بالحالة التي تكون فيها G المجموعة الاسقاطية وحيث $K = 2$ ؛ عندها يقال إن السطحين S و S' متطابقان اسقاطياً . وبين E. Cartan أنه خارج السطوح المنتظمة ، تكون السطوح المتطابقة استثنائية . أنها سطوح بؤرية لبعض التطابقات W . وفيما بعد وسّع G. Fubini و خصوصاً كارتان هذه الافكار فاشملها المنوعات من ذوات أكثر من بعدين .

ولدت هذه المسائل فرعاً في الجيومتريا اللامتناهية الصغر سمي جيومتريا اسقاطية - تفاضلية ، وفيها تكون المجموعة الأساسية هي المجموعة الاسقاطية . وحقيقية القول إن الكثير من المسائل المعالجة في الجيومتريا اللامتناهية الصغر الكلاسيكية تدخل في نطاق هذه الجيومتريا الجديدة . من ذلك مثلاً نظرية الخطوط المقاومة ، ونظرية تحويلات لابلاس Laplace ، والتطابقات W ، الخ . وبعد 1908 ، وضع فيلشنسكي Wilczynski أسس هذه النظرية ، التي تابع دراستها كل من Fubini وتشيك Cech و تيراسيني Terrachini و بومبياني Bompiani و سيجر B. Segre و بول Bol و غوردو Gordeaux ، الخ . ويمكن أيضاً تضمين هذه الجيومتريا دراسات أقدم قام بها C. Segre .

لاعطاء فكرة عن المسائل المدروسة ، ننظر في سطح (x) منسوب إلى مقاريه u, v . ونفترض U, V النقطتين اللتين تمثلان المماسين في نقطة x مع الخطين u, v فوق $Hyperquadrique$ [مربع الابعاد] Q المنسوب إلى Klein . ان النقطتين U, V هما متحولاً لابلاس $Laplace$ احدهما على الآخر (تريزيكا Bompiani و Tzitzeika) ؛ هاتان النقطتان تحددان سلسلة لابلاس I الذاتية الاستقطاب بالنسبة إلى Q ، وهذا يتيح ربط النقطة x بسلسلة من التريعات اولاهها تريعة Lie . ان مولدة التطابق W التي يشكل (x) سطحاً بؤرياً لها ، تمثل بنقطة على المستقيم UV راسمة شبكة متزاوجة مع المماثلة (UV) (Darboux) . وإذا كانت المتتابعة L تقف عارضة حالة $Laplace$ ، فهي تقف من الجهة الأخرى مقدّمة ، بشكل عام ، حالة Goursat . نذكر أيضاً ان Terracini قد حدد كل السطوح التي تنتمي مقارباتها إلى معقدات خطية .

حتى في الجيومترية المترية قد تقدم التمثيلات فوق الفضاءية خدمات كبرى كما بين ذلك فتشنسني Vincensini في دراسة تحول Lie .

ويمكن أن نربط بالجيومتريا الاسقاطية التفاضلية بعض بحوث Villa وتلاميذه . لو وجد بين فضاءين تحول دقيق وإذا كانت P و P' نقطتين متماثلتين ، تبني التحولات الثنائية الجذور التي تقارب التحول المعين ، في جوار P ، P' ، حتى أعلى مرتبة ممكنة .

وأدت بحوث C. Segre المذكورة أعلاه إلى دراسة المنوعات التي لنقاطها إحداثيات ترضي نظاماً معيناً من المعادلات ذات المشتقات الجزئية (Bompiani و Terracini و Togliatti ، الخ) ؛ وقد أدى هذا إلى تعميم التقاريبات ، والانظمة المتزاوجة وتحول لابلاس (بومبياني ومينغر) . ونذكر هذه الخصوصية العجيبة المنسوبة إلى بومبياني : ان السطح الجذري الحاصل اسقاطياً ، من رتبة المنحنيات السطحية من مرتبة n إلى « السطوح الزائدة » في فضاء ذي أبعاد $(n/2) + 3$ ، يتلاءم مع نظام من المعادلات ذات المشتقات الجزئية يميز هذا السطح الجذري .

وعمم Bompiani نظرية Riemann حول السطوح معتبراً أنّ خصائص متنوعة لا متغيرة بالنسبة إلى التشوهات التي تحفظ اطوال الاقواس وحتى مرتبة ما ، انحناءات المنحنيات المرسومة فوق المتنوعة .

وادخل فرانسيانو Vranceanu دراسة السطوح التي سماها «انهولونومية» (غير تامة التقيد ، anholonomes) ، والتي تنضم ، في فضاء ذي أبعاد بعدد n ، إلى نظام غير قابل للحلّ تماماً مؤلف من $(n-2)$ من معادلات Pfaff . وقدم بورتولوتي E. Bortolotti وهلافاتي Hlavaty وماكسيا Maxia مساهمات مهمة في هذه المسألة .

جيويمتريات Cartan - نبّهت « النسبية العامة » الجيومترين إلى النظرية الجيومترية حول المتنوعات . فظهرت مفاهيم جديدة إلى الوجود تعزى بشكل رئيسي إلى E. Cartan و T. Levi . ان المتنوعات المدروسة هي على العموم من متنوعات Riemann ؛ وهي تفترض غارقة في فضاء إقليدي ذي عدد مرتفع بما فيه الكفاية من الابعاد .

وادخل Levi - Civita مفهوماً عن الموازاتية يمكن تفسيره ، في حالة السطح ، بالشكل التالي : نفترض B و A نقطتين في سطح S ، و ℓ خطاً بينهما على السطح . والمتطورة المحيطة بـ S على طول A يمكن تطويرها فوق السطح المماس لـ S عند A . وتحتل النقطة B موقعاً B' . نرفع من A مماساً a لـ S ، عندها يكون الموازي b' المجرور من B' إلى « محدداً تماماً » . وبالعودة إلى S ، فمع الاتجاه b' يتطابق اتجاه b مماس لـ S عند B . وهذا هو موازي ليفي - سيفيتا لـ a عند B . إن هذا الموازي يتعلق عموماً بالطريق l ، إلا إذا كانت ℓ « جيودزيك » [خطاً متقاصراً] للمتنوعة . إن زاوية الاتجاهين تظل محفوظة دائماً . وأخيراً إذا كان الاتجاه b مستقلاً عن ℓ دائماً ، فالمتنوعة تكون افليدية . ويمكن تلخيص تصور Elie Cartan بما يلي : يتصور Cartan مستمرة V ذات أبعاد n ، وعند كل نقطة A من هذه المستمرة يربط فضاء S_n يحتوي A ، وفيه تستقر جيومتريّة زمرة (مستمرة) وأساسية G . فضلاً عن ذلك ؛ إذا كانت A و B نقطتين قريبتين إلى ما لا حد له من V ، يحدث تحول في المجموعة G ، يتيح الانتقال من الفضاء S_n إلى الفضاء S_n . والقسم من V المجاور تماماً لـ A يمكن بالتالي أن يُشَبَّه ، بفارق متناهيات صغر في المرتبة الثانية تقريباً ، بفضاء من الزمرة الأساسية G . وإذا كانت C نقطة من V و ℓ طريقاً بين A و C مرسومة فوق V ، يمكن وصل الفضاءين S_n و S_n بنوع من المكاملة على طول ℓ ، ولكن هذا الوصل يتعلق عموماً بـ ℓ . وبالنظر إلى الطرق المنطلقة من A والعائدة إليها ، يحصل لدينا سلسلة من الاتصالات من S_n مع نفسها ، تترجم بتحويلات من الزمرة G . هذه التحويلات تشكل زمرة فرعية G مستمرة من G ، يسموها Cartan زمرة « هولونومية » (تامة التقييد) . أما المستمرة V فتكون فضاء غير هولونومي في الزمرة الأساسية G . ان الزمرة الفرعية g يمكن بالتأكيد أن تتطابق مع G أو مع التطابق . وفي هذه الحالة الأخيرة تكون V فضاء هولونومياً في الزمرة G .

وضم التصور الملهم عن Cartan إذاً مفهوم Klein كحالة خاصة ، ولكن جيومتريات Riemann تدخل ضمن مفهوم Cartan . أما الجيومتريا الدقيقة عند H. Weyl وادنغتون Eddington فتدخل أيضاً كحالات خاصة من الجيومتريات الكارتانية ، ولكن في هذه الحالات ، تترك الزمرة g النقطة A ثابتة . وبني Cartan الجيومتريات التي تكون الزمرة G بالنسبة إليها زمرة تنقلات ، أو الزمرة الاسقاطية أو الزمرة المطابقة ، وهناك العديد من التطبيقات قد حدث .

وجرت بحوث عدة حول تنوعات Riemann بالارتكاز على الحساب التفاضلي المطلق عند ريتشي Ricci بشكل خاص . ويجدر هنا ذكر شوتن Schouten وفيلن Veblen ، الخ .

ووضع فنسلر Finsler جيومتريّة متخذاً كـ ds شكلاً مُتَسَقاً من الدرجة الاولى ، محدداً وإيجابياً ، عن تفاضليات المتغيرات المستقلة . ووضع E. Cartan ، بعد دراسة لهذه الجيومتريّة ، جيومتريّة أخرى مرتكزة على مفهوم المساحة .

الطوبولوجيا والجيومتريا التفاضلية الشاملة - يمكن أن نتخذ ، كمجموعة أساسية في الطوبولوجية أو تحليل الوضع Analysis situs ، مجموعة التغيرات المزدوجة التطابق [biunivoque] : في الرياضيات : التطابق بين عناصر مجموعتين يكون بحيث يتطابق كل عنصر مع

عنصر واحد فقط من المجموعة الثانية [، المستمرة بالاتجاهين . والبحوث الطوبولوجية في القرن التاسع عشر مزروعة بسطوح Riemann وابعداد Betti وبخمس مذكرات شهيرة وضعها Poincaré . ان هذا الفرع من الهندسة ، الذي هو في أساس أغلب النظريات الرياضية ، قد ازدهر كثيراً في القرن العشرين . ويمكن أن نذكر أعمال Brower ، وكركيارتو Kerekjarto وهوف Hopf و Vehlen و Lefschetz والكسندر Alexander والكسندروف Alexandrov وزايفرت Seifert وثرلفول Threlfall و Cech وكولموغوروف Kolmogorov وبوترياغين Pontriaguine وإيمان Echmann الخ . وظهرت معالجات متوسطة الحجم مثل وسيط كل من Vehlen و Alexandrov و Seifert و Threlfall . ولكن يجب ذكر الأعمال الجليلية التي قام بها J. Leray الذي عاد إلى المسألة من أساسها فعمم المفاهيم التي أدخلت قبله وعرض الطوبولوجيا الجبرية بشكل يسهل تطبيقاتها . وقد أتاحت نظريته حول الحزمات خاصة ، بحوثاً جديدة حول المنوعات التحليلية (H. Cartan ، وأوكا Oka ، شتاين Stein كودايرا Kodaira) وحول الجيومترية الجبرية (Serre وغروتنديك Grothendieck) . ونذكر ان بحوث Élie Cartan حول التعادل المرتكز على نظرية اشكال Pfaff تساعد على اكتشاف الشروط الضرورية والكافية لوجود بعض التمثيلات الطوبولوجية ، في حين ان الطرق الطوبولوجية تتيح فقط وضع الشروط الضرورية .

ويمكن ربط الطوبولوجيا بالجيومترية التفاضلية الشاملة كما بناها بشكل خاص ارسمان Ehresmann وشرن S. Chern وليشنوفيتش A. Lichnerowicz . ونكتفي ببعض الاشارات لفهم طبيعة المسائل المعالجة . ننظر إلى منوعة طوبولوجية V ذات أبعاد (n) ، في كل نقطة فيها يمكن اشراك جوار هوميومورفي [مُشاكل طوبولوجياً] مع كرة ملائمة ذات أبعاد n (أو مع مكعب ملائمة ذات أبعاد n) . وهذا يعني افتراض أنه عند كل نقطة من الجوار تُشرك إحداثيات (n) حقيقية . نفترض وجود نظام جوار يغطي تماماً المتنوعة ، وانه ، إذا كان هناك نقطة ذات جوارين ، فإن احداثيتي أحدهما تعتبر وظائف لاحداثيتي الآخر ، على أن لا يكون يعقوبي هذه الوظائف عدماً . وإذا قبلت هذه الوظائف مشتقات حتى المرتبة p ، نحصل عندها على أطلس للمتنوعة قابل للتفاضل حتى المرتبة p .

والمفهوم الذي يتدخل في هذه الجيومترية هو مفهوم المتنوعة الخيوطية . فالمتنوعة V ذات الأبعاد (m) تسمى خيوطية عندما يمر في كل نقطة منها متنوعة F (الخيط) ، على أن تكون هذه المتنوعات F كلها هوميومورفية (متشاكل طوبولوجياً) . والمجموعة المجردة لهذه المتنوعات F هي متنوعة ذات أبعاد (n) تسمى « متنوعة - أساس » لـ V (أنظر الفصل الثاني من هذا القسم) .

إن طبيعة هذه التعاريف توحي بأن أفكار É. Cartan تلعب دوراً كبيراً في هذه الجيومترية . ومن جهة أخرى ، ان تطبيقاتها كثيرة خاصة في حساب التغيرات (ديدكر Dedeker) .

بحوث أخرى - عند دروس مطلق كاتن جيومترية ، نضع على العموم عدداً من الفرضيات تسمى فرضيات التيسير . هكذا في الجيومترية المتناهية الصغر ، نفترض عموماً ان كل مشتقات

الوظائف ، التي تدخل في البحث موجودة ومستمرة . ولكن يمكن طرح السؤال حول معرفة الفرضيات النافلة بالضبط ، وهي مشكلة صعبة على العموم قد استرعت انتباه الجيومترين .

ويمكن تمييز الجيومتريا المنتهية التي وضعها الجيومترى الدانمركي يول Juel بالقول انها تبحث في خصائص الكائنات الجبرية الموجودة عندما نقتلع عن الجبرية (algebraicity) [أي الاسترسال في ادخال الجبر في كل مجال] . في القرن العشرين ، طورت هذه الجيومترية بشكل خاص من قبل P. Montel ومارشوه A. Marchaud وهويت O. Haupt .

وتمّ التساؤل أيضاً عن ماهية خصائص الجيومتريا اللامتناهية الصغر الكلاسيكية والتي تتواجد عندما لا نفترض وجود بعض المشتقات . هذه المسائل درست من قبل A. Marchaud وبوليفان G. Bouligand ، الذي سمي هذه النظرية بالجيومتريا اللامتناهية الصغر المباشرة . وقد طورت هذه المسائل بشكل ضخم ، حديثاً من قبل المدرسة الروسية بقيادة A. Alexandrov وبوغوريلوف Pogorelpov ومن قبل المدرسة الاميركية بقيادة بوسمان H. Busemann ، وكلهم عالجوا أيضاً بنجاح مسائل الجيومتريا الشاملة عبر هذه الطرق « المباشرة » .

حساب الاحتمالات وتطبيقاتها

بخلال القرن العشرين ، تجدد حساب الاحتمالات بشكل عميق ، خاصة بفضل ادخال الافكار الأساسية في التحليل ، وبفضل تدخل نظرية المجموعات وقياسها وشيوع استعمال التحليل الوظيفي والقضاءات العامة .

وبغية توضيح صورة الفكر الاحتمالي الذي سوف نعالج ، بدا لنا انه من المناسب الاشارة ، بالنسبة إلى مختلف البلدان ، إلى العلماء الذين أتوا بالحوافز الرئيسية ، التي طورت فيما بعد من قبل تلاميذهم ومن قبل علماء الاحتمالات في العالم أجمع .

رؤساء السلسلة في المدرسة الاحتمالية - في روسيا ، ثم في الاتحاد السوفياتي ، بقي البحث في هذا المجال ناشطاً . ورث آ . ب . تشيبيشيف A. P. Tchibyshev و آ . ماركوف A. Markov كلاً من برنشتين S. Bernstein وسلوتسكي Slutsky وكتشين Kintchine وكولموغوروف Kolmogorov وبتروفسكي Petrovski .

في انكلترا قامت مدرسة احصائية ناشطة على يد كارل بيرسون Karl Pearson واينغون . س . بيرسون Egon S. Pearson وج . أودني يول G. Udny Yule ور . آ . فيشر Fisher (سير رونالد) مع مدرسة نيومان رودامستد Rothmasted ، التلميذ القديم لـ س . برنشتين S. Bernstein الذي اشتغل طويلاً في لندن قبل أن يستقر في الولايات المتحدة . وهناك مدرسة أخرى ، يمثلها رامسي Ramsey وجفريس Jeffreys وكينس Keynes اهتمت بأسس حساب الاحتمالات وبمنطق المحتمل .

وتعبر المدرسة القوية ، « الاحتمالية والاحصائية » ، في الولايات المتحدة الاميركية ، الحديثة العهد نسبياً ، عن نفسها من خلال مجلة (حوليات الاحصاءات الرياضية) وهي مجلة أسست سنة 1930 . أهم ممثلها وأغلبهم جاء من أوروبا وهم آ . والد A. Wald ور . فون نيومان R. Von Neumann ور . فون ميزس R. Von Mises ونيمان Neymann وج . بوليا G. Polya ون . فير N. Wiener ودوب Doob وفلر Feller وهيل Hill وهالموس Halmos وولفويتز Wolfowitz .

وبحسب ثراث لابلاس Laplace ويوانكاريه Poincaré ، تتمثل المدرسة الفرنسية بقيادة بويل É. Borel وفريشييه M. Fréchet وب. ليفي P. Lévy وج. داراموا G. Darmon ، وأيضاً بـ أ. هالفن E. Halphen ودوبلين Doebelin ووهرلي Wehrle وبالعديد من الاحتماليين الناشطين جداً . أما ألمانيا فقد كرست جهودها لمدة طويلة ، من أجل الإحصاء الاقتصادي قبل أن تطور بشكل باهر الإحصاء الرياضي . وقد علم ر. فون ميزس R. Von Mises (نظرية المتكثلات) في تركيا ، ثم استقر في الولايات المتحدة . وتشهد أسماء ف. كانتلي F. Cantelli وك. جيني C. Gini وفينيتي B. Finetti بحوية المدرسة الإيطالية . وفي البلدان السكندنافية يذكر ه. كرامر H. Crámer وه. وُلد H. Wold في السويد ، ور. فريش R. Frisch في النرويج ، في حين لعب ، في أوروبا الوسطى كل من التشيكين هوستنسكي Hostinsky وسباسك Spacek والهنگاري ريني Renyi والرومانيين أونيسيزر Oneceseu وميهوك Mihoc دوراً ناشطاً جداً ، وفي الهند حقق ب. ك. ماهولونوبيس P. C. Maholonobis انجازاً ضخماً .

التبديهي في حساب الاحتمالات - ظل مفهوم الاحتمالية مبهماً حتى بداية القرن العشرين ويعود الفضل في تعريفها الدقيق ، المرتكز على قياس المجموعات إلى É. Borel فالقياس - وهو وظيفة مجموعة جمعية - هو بالاجمال ، توازن ، بين كل التوازنات التي يمكن تصورها . وقاد هذا التعريف إلى شرح وتوضيح البداهة المقبولة ضمناً حتى ذلك التاريخ ، واتخذ تمثيل كولموغوروف Kolmogorov الدقيق كأساس (1933 Grundbegriffe der Wascheinlin... Berlin) .

من أصل مجموعة أساسية من الامكانات ، صُنِعَ نوعٌ من التثقيل Pondération ، أو بقول آخر توزيع للكتل ، قياساً (ثقلاً شاملاً) في عائلة واحدة من المجموعات الفرعية . هذا التوزيع للكتل يعني الاختيار من بين العدد اللامتناهي من التوزيعات الممكنة ، والمسألة الأهم هو تكييفه الأفضل مع المسألة المطروحة .

قد يحدث أن يكون هذا التثقيل موحد الشكل ، ومثلاً أن يكون للمجموعة الأساسية التامة ، كمناصر ، أثقال متساوية . ولكن من المهم دائماً إيجاد فهم ماهية هذا المعجل الأساسي ، وماهية المجموعات الفرعية ، ولماذا تم اختيار مثل هذا التثقيل ؛ وهذا ما بيّنه التطبيق المضلل الذي قام به Poincaré على مسألة لعبة ورق (مجلد 3) .

تطور حتمي وتطور احتمالي - بنى الميكانيك الكلاسيكي والميكانيك السماوي ، انطلاقاً من الكون الخارجي نماذج حتمية تحليلية بحيث انه إذا افترض ان الموقع ، والسرعات ، وحقل القوى ، كلها معروفة في لحظة معينة ، فإن حل المعادلات التفاضلية يحدد المستقبل بصورة قاطعة .

مثل هذا النموذج بدأ صعب التكيف مع تطور الفرد ، والعامّة ، والوضع الاقتصادي . فإذا كان للفرد جزءٌ من تطوره محكوماً بجزيئاته الموروثة ، فإنه يكون بالتالي خاضعاً لحقل احتمالي من التأثيرات الغذائية ، والسيكولوجية ، ولحقل من الاشعاعات يمكنها أن تحدث تغييرات في النمو وفي التبديلات الوراثية ، الخ .

إن شعباً ما يتطور بالزيجات والولادات ، والوفيات والهجرات . وليس الا عن طريق التبسيط المسرف يمكن ترجمة هذا النمو بمعادلات تفاضلية أو تكاملية . والحال هو كذلك بالنسبة إلى الوضع الاقتصادي . لا شك انه يمكن إلى هذا إضافة نوع من الوتيرة المماثلة لوتيرة نظام متذبذب ، ولكن الاحتمالات تلعب دوراً ضخماً ، ويخضع النظام المتذبذب ، كما لاحظ ذلك يول G. U. Yule وتبته فريش R. Frisch ، لصددمات احتمالية تغير في تطوره . وهكذا يمكن القول انه في كل لحظة يمتلك النظام المنظور قانون احتمالية عفوية يحل محل الصورة الحتمية ويعطي حزمة ممكنة من أجل ملاحقة المسار المرصود .

وبنفس الطريقة يكون التطور الارصادي تابعاً لظواهرات احتمالية ، ذات عواقب مخيفة في بعض الاحيان . وكذلك التدفقات المتتالية للالكترونات داخل موصل ما ، والتي تحدث ضجة عميقة ، تعود إلى نموذج من الصدمات العشوائية .

كل هذا يؤدي إلى نوع من الميكانيك العشوائي ، يشتمل على الميكانيك الكلاسيكي ، من أجل دراسة التطورات في الزمن ، كما يؤدي إلى مفهوم عام جداً للانتقال من نظام حالة إلى نظام حالة أخرى ممكنة .

نذكر مثلين عن التطور الاحتمالي درسهما هنري بوانكاريه Poincaré ، مثل خلط الاوراق ، ومثل تسرب السائل إلى سائل ذي لون مختلف (راجع مجلد 3) . لقد بين باشليه Bachelier خضوع هذه المسألة الأخيرة للمعادلة ذات المشتقات الجزئية ، المتعلقة بانتشار الحرارة المسمى مسألة فورييه Fourier ، وبين بوليا G. Polya ان مسائل الانتشار هذه يمكن أن تعالج بالانتقال إلى الحد انطلاقاً من التطور الاحتمالي ، ويقفزات متقطعة ، أو انطلاقاً من سير عشوائي بالصدفة على مستقيم ، أو في فضاء ذي بعدين أو ثلاثة أبعاد . مثل هذا السير بالصدفة يظهر في دراسة الريح الاجمالي للاعب ما ، أو بصورة أعم في نقطة تمثل السحوبات المتسلسلة من صندوق .

ومنذ القرن التاسع عشر ، أدى تطور الاجزاء إلى ادخال كائنات عشوائية عامة جداً (مجلد 3) . والواقع أنه لا حدود لتعقيدات هذه الكائنات العشوائية التي تظهر في ابسط الحالات .

الارتباطات العرضية (الانفاقية) - رأينا في المجلد الثالث أصل نظرية الترابط . إن المفاهيم العامة إلى أقصى حد التي دخلت في هذه النظرية تتيح تحليل الارتباطات العرضية الداخلية في العنصر العشوائي المدروس ، وتطبق على العناصر العشوائية ذات العدد (n) من المتغيرات ، وعلى العناصر العشوائية العامة . ودرست مذكرة شهيرة وضعها فيشر R. A. Fischer الارتباط القائم بين حصاد القمح في روداستد ، وهو متغير عشوائي ، ومطر السنة ، وهو وظيفة عشوائية .

وخلال هذا القرن اتخذ مفهوم الارتباط العرضي عمومية أكبر كما ان امكانياته التفسيرية قد تزايدت ، ومن بين التنوع الضخم المحتمل في الارتباطات الداخلية ، هناك حالة عامة جداً في تطور عشوائية هي حالة يكون فيها قانون احتمالية المستقبل متعلقاً بالماضي كله .

وإذا امتلك المتغير العشوائي عدداً ضخماً ومعدوداً من القيم ، فإن قانون الاحتمالية يتعلّق بكل القيم المتخذة من قبل . في هذا القانون الشرطي ، واحتمالية الانتقال ، قد يتناقص تأثير القيم السابقة وينتج نحو الصفر عندما يكبر k ؛ ويمكنه أيضاً أن يزول ذاتياً في حال البعد الكافي . ويمكنه كذلك أن لا يتعلق إلا بالقيمة السابقة أو يكون مستقلاً عن كل الماضي .

إن بعض الحالات مهمة بشكل خاص وقد درست كثيراً :

أ - عندما لا يتغير قانون الاحتمالية إذا غيّرنا (i) إلى $(i + k)$ (باعتبار k عدداً مطلقاً) ، عندها يقال إن العملية جامدة أو في تسلسل متوقف .

ب - إذا كان التأثير يقتصر على تأثير القيمة التي تم الانطلاق منها ، لا يتدخل الماضي إلا من خلال النتيجة التي قدمها ؛ إن التبعية التسلسلية التي وضعها Markov هي التي أثارت أعمالاً عدة ، أعطى بعضها نتائج جيدة .

ج - ويمكن الاكتفاء بفرضيات عامة جداً ، ولكنها كثيرة الحدوث ، كوجود عزم من المرتبة الثانية . في هذه الحالة الأخيرة ، حالة الوظائف العشوائية من المرتبة الثانية ، نضطر إلى تعريف الوظائف التي تلعب دوراً أساسياً ، وتمتلك خصائص مفيدة . من ذلك التغيرات التي تسمى ، في حالة التفاعلات الجامدة ، وظائف الترابط .

قوانين الأعداد الكبرى . دور قوانين لابلاس - ينزع التواتر (f_n) نحو الاحتمال P ، وهذا الترجه له احتمالية تعادل الوحدة . وهذه النتيجة الأخيرة (Kolomgorov) تشمل ، كالأولى ، الترجه نحو القيمة المتوقعة $E(X)$ من قبل القيمة الوسطى $(X_1 + X_2 + \dots + X_n)/n$.

وبين Kolomgorov قاعدة قوية تتناول سلسلات العشوائيات المستقلة ؛ إذا كانت خاصّة معينة (A) بحيث لا يغير تغيير عدد متناهٍ كيفي من نوعية الـ X_i شيئاً في واقعة امتلاك أو عدم امتلاك الخاصّة (A) ، عندها لا يكون الاحتمال $P(A)$ الا صفراً أو واحداً . ان جمع الأخطاء الأولية المستقلة يولد عشوائية S_n . ان الامكانية المحولة $(S_n - E(S_n))/\sigma_n$ تتبع في النهاية قانون Laplace .

ودرس Liapounov (1901) ثم Lévy p. (1937) و Khintchine ، درساً كاملاً هذا الترجه نحو قانون Laplace الذي يسلكه مجموع عشوائيات مستقلة . وهكذا في حالات ذات أهمية قصوى عملية ، يمكن للقانون الذي اكتشفه Laplace أن يستخدم كقانون أقصى .

قوانين اللوغاريتم التكراري - هل يستطيع المجموع S_n أن يتجاوز وظيفة ما $\varphi(n)$ ، $\varphi(n)$ ؟ ان الاحتمال π ، حتى تتحقق المجموعة اللامتناهية من اللامعادلات $S_n \leq \varphi(n)$ ، لا يمكن أن يكون إلا صفراً أو واحداً (Kolomgorov) وينتج عنه وجود طبقتين من الوظائف ، طبقة عليا بحيث تكون $\pi = 1$ ، وطبقة دنيا تكون فيها $\pi = 0$.

وقد ثبت ان الوظيفة $\varphi(n) = C\sqrt{2n \log \log n}$ هي من طبقة أعلى إذا كانت $C > 1$ ،

وتكون أدنى إذا كانت $C \leq 1$ و S_n مجموع المتغيرات X_i من ذات القانون (قانون اللوغاريتم المتكرر) . وبالنسبة إلى الطبقة العليا ، لا يكون التجاوز إلا بعدد متناه من المرات بالنسبة إلى الطبقة الدنيا ، ويتحقق التجاوز بعدد لا متناه من المرات ، أو بالأحرى ان هذه النتائج تكون شبه مضمونة (باحتمالية تعادل واحداً) .

وهكذا يتيسر لنا ، في مثل هذه الحالة من اتجاه قانون الاحتمالية نحور قانون Laplace ، قانون لوغاريتم متكرر بالنسبة إلى الانحرافات . وهذه النتائج قد عممت إلى حد بعيد .

الطرق التحليلية الجديدة - تجب الإشارة أولاً إلى استعمال الوظيفة المميزة (f.c) لقانون الاحتمالية . انها المتحولة المنسوبة إلى Fourier حول وظيفة التوزيع (f.d) .

نفترض $\int_{-\infty}^{+\infty} e^{itx} dF(x) = E(e^{itx})$ حيث المتغير t حقيقي . لقد استخدم Laplace بكثرة الوظيفة f.c ، خاصة بالنسبة إلى المتغيرات العشوائية الصحيحة ، حيث تصبح متعدد حدود أو سلسلة صحيحة عند e^t . وعرف كوشي Cauchy (1853) بكل دقة الوظيفة المميزة $\int_{-\infty}^{+\infty} e^{itx} f(x) dx$ في حالة كثافة وطبقها على القانون الملحوظ ، المسمى قانون Cauchy وفيه :

$$f(x) = (1/\pi) (1/(1 + x^2))$$

وقدم H. Poincaré في سنة 1912 تعريفاً واسماً لـ f.c ولكنه أخذ $E(e^{itx})$ بالإعتبار دون أن يوضح ان t يجب أن تكون خيالية خالصة . وبين أن f.c تحدد قانون الاحتمالية بواسطة محوّل Fourier .

وبواسطة دراسة عميقة وبارعة جداً بين P. Lévy كل قوة الوظيفة f.c مبنياً بدقة القواعد الحدود ، وخاصة وجود حد لـ f.d عندما يكون لـ f.c حد آخر . وهكذا استطاع أن يحل بشكل معمق جداً مسألة لابلاس - ليابونوف ، كما عرف القوانين اللامتناهية القسمة ووجد التعبير العام للوظيفة f.c . وادخل P. Lévy أيضاً وسيلة عمل مفيدة جداً في مسائل التلاقي ، ووظيفة التركيز ، وأوجد لا معادلة أساسية ارتبطت بها .

إضافة إلى ذلك اننا ملدينون له بصياغة قاعدة (1935) ثبت فيما بعد على يد H. Cramer : إذا كان مجموع متغيرين ، قانون احتماليته هو قانون Laplace ، فان لكل منهما قانون Laplace . وكانت هذه النتيجة الأساسية في منشأ العديد من القواعد الفخمة جداً المسماة غالباً باسم حلقة Lévy - Cramer .

وباستعمال f.c أيضاً استطاع دارمو G. Darmon أن يبين بدون أية فرضية عكس القاعدة (التي بين R. A. Fisher عموميتها وخصوصيتها) حول الوظائف الخطية للمحتملات المستقلة ، والتي تبقى مستقلة . هذه الخصوصية التي تميز المحتملات اللابلاسية أتاحت لمورييه E. Mourier أن يكمل تعريف العناصر العشوائية اللابلاسية في فضاء باناخ Banach .

ويست مذكورة مهمة وضعها لوفه Loeve حول الوظائف العشوائية من المرتبة الثانية ان

التغايرات قريبة جداً من الوظائف f, c ، وتقدم لها العديد من الخصائص .

إن النتائج المهمة حول حساب (إرتمتيك) قوانين الاحتمالات ، والتي حصل عليها ليفي وكنتشين وبوليا ودوغيه D. Dugué جمعت في الدراسات التي نشرها ليفي (1937) ودوغيه (1958) .

المشتقات والمتكاملات العرضية - نذكر الاشكال الأكثر أهمية في التلاقي العرضي (راجع مجلد III) : التلاقي في القانون (وهنا تطبق القواعد السابقة التي وضعها ب. ليفي P. Lévy) ، التلاقي في الاحتمالية ، والتلاقي في المتوسط ، والتلاقي شبه الاكيد (p. s) وأخيراً التلاقي شبه الاكيد بصورة كاملة (p. c. s) ، وهو أشد ضيقاً من السابق ويؤدي إليه (ان قواعد Borel وكانتللي Cantelli تعني بالتلاقي شبه الاكيد بصورة كاملة) .

وبالارتباط مع قانون الاعداد الكبرى ، جرى منذ عشرين سنة تقريباً تطوير نظرية تتعلق بالقيم الكبرى والصغرى ، حيث درس فيها السلوك العشوائي (في الاحتمالية شبه الأكيدة ، وشبه الأكيدة بصورة كاملة) للكميات M_n/f_n و $m_n/f(n)$ ، باعتبار $f(n)$ وظيفة عدد من العناصر في عينة عشوائية وباعتبار M_n و m_n على التوالي أكبر وأصغر من النتائج لـ n العشوائية في العينة . بهذا الحقل من الدراسة قرنت أسماء غيندنكو Gnedenko وغامبل Gumbel وجيفروي Geffroy . ويمكن بالتالي ربط كل الحدود (العرضية) بمختلف أشكال التلاقي .

ونعرف الاشتقاقية انطلاقاً من تعبير من نمط $G(t, \Delta t) = [X(t + \Delta t) - X(t)]/\Delta t$ حيث تنزع Δt نحو الصفر : اذا نزعنا G نحو قيمة عشوائية $Y(t)$ ، يحصل المشتق $X(t)$ بالنسبة لقيمة t . وتتدخل المشتقات بشكل خاص في شروط التلاقي عند المتوسط التريبيعي (m. q) ؛ ان الاشتقاقية المزدوجة في (m. q) تلعب دوراً أساسياً في الميكانيك الاحتمالي . وكذلك تُعرف التكمالية (التلاقي في الاحتمالية ، و p. s و m. q) .

ولاحظ باشليه Bachelier ان هذه المسألة (في m. q) هي ذات علاقة مع نظرية المعادلات التفاضلية والمعادلات ذات الاشتقاقات الجزئية ؛ والشروط محكومة بمعادلات كولموغوروف Kolomogorov .

طريقة مونت كارلو - منذ زمن بعيد جرت محاولة درس عددي لبعض المسائل التي ليس لها حل نظري متقدم جداً . من ذلك حالة توزيع مُعامل الترابط الجزئي قبل أن يقدم R. A. Fisher لها حلاً بسيطاً وكاملاً (مترون MétroN ، 1924) . وقام بيسفام Bispham بهذه الدراسة ، الاختبارية نوعاً ما ، حول عدد كبير من القيم (عدة مئات) ؛ وحصل على موافقة جيدة بشأن المعامل العادي للترابط . ولكن ، كما هو معروف الآن ، لن يكون الفرق مرئياً إلا بالنسبة إلى عينات صغيرة جداً ؛ ثم انه قبل الولوج في أعمال مهمة من هذا النوع ، يتوجب فحص الحساسية .

وكذلك فإن توزيع المتغير الشهير $s = \frac{\bar{x} - m}{s/\sqrt{n}}$ ، باعتبار s تقديراً لـ σ ، الذي يتبع بسهولة من التاملات الانيقية في الجيومتريا ذات الابعاد (n) التي قام بها R. A. Fisher ، كان قد تكهن به

ستودنت Student خلال قيامه بتسوية إحصائية .

إن المسائل المعالجة اليوم هي أكثر صعوبة بكثير . ومن بين الأبسط فيها ، تظهر المتكاملات المضاعفة (لنقل ذات الأبعاد المنة) كما هو حال فوقيات الاحجام ، اجزاء المكعب الفوقي ذي الضلع الوحدة . وإذا اخترنا عدداً N من النقاط عشوائياً ، ثم تفحصنا كم منها داخل في الحجم ، لنفترض n فإن n هو تقدير للحجم . وعقد مؤتمر خاص (طريقة مونت كارلو . . .) ، واشنطن ، 1951) فدرس عدة نماذج منها (فيزيائية ورياضية ، الخ .) يضاف إليها كل يوم نتائج جديدة .

وتم فتح مجال بأكمله عالم جداً ولملموس جداً بأن واحد ، من أجل استعمال اعداد عشوائية (random numbers) ، بفضل قوة الحساب الاوتوماتيكي . وهكذا يمكن أن نعثر على حلول عديدة لمسائل كانت مستعصية تماماً في الماضي .

نظرية التخمين (التقدير) - ان المسألة الأساسية في نظرية التخمين هي : ماذا يمكن أن يقال عن بنية وعاء معين ، أو بشكل أعم ، عن بنية مجتمع إحصائي معين انطلاقاً من المشاهدات التي تشكل عينة عشوائية ؟ تقوم المشكلة على وضع وظيفة (E) (عشوائية أيضاً) لهذه العينة باستطاعتها أن تكون ذات احتمالية جدية في أن تكون قريبة من المجهول . ويعود الفضل في أسس هذه النظرية إلى السير رونالد فيشر Ronald Fisher (نظرية التقديرات الاحصائية ، 1925) .

نأخذ مثلاً ، قانون لابلاس Laplace حيث يتوجب تقدير القياسين (بارامتر) m ، σ . لدينا عينة : x_1, x_2, \dots, x_n من المشاهدات . ويتوجب الحصول على وظيفتين للعينة . نطرح :

$$s^2 = \sum (x_i - m)^2 / (n - 1) \text{ و } m' = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n$$

إن هذه التعابير تبدو طبيعية . والسبب فيها ان $E(s^2) = \sigma^2$ ، والعشوائية s^2 موزعة إذا حول متوسط هو بالضبط المجهول . ان دراسة m' و s^2 تدل على أن هذه التقديرات توزع تماماً حول m وحول σ ، مع تلاقي في الاحتمالية .

ولكن قد توجد تقديرات أخرى ويتوجب مقارنة حسناتها .

الخلاصات الشاملة (المستفدة) - قد يعطي رصد العينة (x_1, x_2, \dots, x_n) فكرة عن المتغير (القياس) المجهول (الذي نفترضه نحن وحيداً) لأن قانون احتمالية العينة يتعلق بهذا المتغير . وهكذا يتعلق مثلاً تجمع نقاط ارتطام البارود بخصائص السلاح ويمكن أن يُعلم عن هذا السلاح .

ولكن بناء مختلف وظائف العينة (مثلاً المتوسط) هل يستفد أم لا طاقة اعلام ؟

في الحالة المهمة بشكل خاص حيث أدخلت من أجل المتوسط T ، التسمية « الخلاصة الشاملة » ، هذا المتوسط يمتلك تفوقاً حاسماً على أية وظيفة أخرى من العينة .

وقد أشار ر . آ . فيشر R. A. Fisher إلى خصائص ملحوظة يجب أن تتوفر في الخلاصات الشاملة . إذا كان للملاحظات n_1 خلاصة R_1 وكان n_2 من المشاهدات خلاصة R_2 ، فإن

المجموع له خلاصة R هي وظيفة فقط حسب R_1 و R_2 .

إن الشكل الضروري لوجود خلاصة دقيقة (ج . دارمو $G. Darmois$ 1935) هو شكل خاص . وعلى كل أنه متحقق بالنسبة إلى قوانين الاحتمالية الأكثر استعمالاً (قانون Laplace ، وقانون بواسون Poisson) . أن غالبية التقديرات لها قانون لابلاسي عندما تزداد n إلى ما لا نهاية . ومن جهة أخرى نحاول أن نعطيه خصائص بسيطة ومفيدة .

1- أن التقدير T لمتغير قياس θ يتعلق بعدد المشاهدات n . ويكون التقدير متلاقياً إذا كانت T تتجه في الاتجاهات نحو θ . فضلاً عن ذلك قد يحدث أن تكون القيمة المتوسطة $E(T)$ مساوية لـ θ . أن مثل هذا التقدير يقال له متلاقياً وبدون تحيز .

2- وإذا كان للتقدير سلوك حتمي لابلاسي ، فمن الطبيعي البحث عن تقدير الانحراف النموذجي (المعاييري) الأدنى .

حدود اللايقين - أعلن ر . آ . فيشر $R. A. Fisher$ ، وأجرى العديد من البرهانات حول الأمر ، أن في كل تقدير بقية من لايقين (شك) . وقد درست هذه المسائل حوالي سنة 1940 وحصلت نتائج مهمة على يد كرامر $Cramer$ وراو Rao وعلى يد دارمو $Darmois$ وفريشييه $Fréchet$: أن الانحراف الوسطي التريبي لتقدير دون تحيز هو محدود دونياً ، ويتم الوصول إلى الحد في حالات الخلاصات الشاملة .

فكرة الترجيع - أن احتمالية عين ما هي $P(E, \theta)$. واعتبرها فيشر $Fisher$ كوظيفة لـ θ ، فسمّاها الأرجحية (Likelihood) واقترح كتقدير لـ θ اعتماد القيمة (المفترضة وحيدة) التي تعطي للأرجحية القيمة القصوى . وهي تقدم بصورة أوتوماتيكية التقديرات والخلاصات الشاملة (المستفيدة) عند وجودها .

وقد تبين ، في ظروف عامة جداً ، أن هذه الاحتمالية صحيحة ، وأنها لابلاسية في المآل الأخير ، وهي تكاد تقارب الشمول .

وفي سنة 1952 ادخل ج . دارمو مفهوم الإليسيويد [مجسم القطع الناقص] في الإعلام . أن مُطلق تقدير هو عشوائي (ذو ثلاثة أبعاد) يمتلك الإليسيويد تشتتات . هذا الإليسيويد الثاني ، الداخل بالضرورة ضمن الأول ، يضع فيه في الحالات المستفيدة .

اختبارات الفرضيات الاحصائية - ادخل نيمن $Neymann$ و س . بيرسون $E. S. Pearson$ ، وهما يسترجعان نظرية اختبارات الفرضيات الاحصائية ، مفاهيم مهمة ومفيدة حول احتمال الخطأ الأول والثاني وحول قوة الاختبار . وبلدت هذه المفاهيم ، الداخلة بفضل التعريف المسبق في فضاء المشاهدة لمجال نقدي يتوافق مع احتمالية صغيرة ، مشرة إلى أقصى حد .

وعلى العموم ، يقرن مفهوم المجموعة الانتقادية موقع نقطة (مشاهدة) في فضاء ما ، باستخلاص معين . هذا الاستخلاص إذا كان نهائياً ، يؤدي إلى اعتماد أو إلى رفض فرضية .

ولكن يمكن الاعتبار بأننا لم نتور كفاية وانه لا بد من اعلام اضافي . ونرى بروز فكرة تسلسل العشوائي بصدد إتخاذ قرار حاسم .

ونبدو ان هذا هو السبيل الذي سلكه A. Wald الذي عمق اختبارات الفرضية الاحصائية وجعل منها تطبيقاً محدداً لمراقبة المصنوعات (وظائف القرار الاحصائي 1950) . وكانت النظرية الرياضية حول الوظائف ، والنظرية العامة حول القرار من بين مواضيع البحوث والاعمال الأكثر حيوية في الوقت الحاضر .

السيطرة على المصنوعات - تتوجب الاشارة إلى تطبيق ، بسيط عموماً ، انما ذي أهمية اقتصادية واجتماعية استثنائية . ان القطع المصنوعة ضمن الشروط الأكثر تنظيمية ورقابة لا تنجم من تغييرية تخضع ، هي بالذات ، لقوانين احصائية . ويتطلب الصنع معدلاً متوياً ثابتاً من القطع التي توصف بأنها معيبة ، أي لا تمتلك الصفة المطلوبة . ان هذه النسبة تحدد البنية الاحصائية لمصنوع : انها السيطرة عن طريق الصفات . وإذا كان الامر يتعلق بابعاد متقلبة مقاسة ، نحصل عندها على توزيع محدد من الترددات . ويراد تحديد هذه البنيات بناء على عينة . وبالنسبة إلى الصفات ، تتبع العينة توزيع « ثنائي الحد » (binôme) أو تتبع ، اذا كانت نسبة المعيب ضعيفة ، قانون بواسون Poisson .

وبالنسبة إلى توزيع ترددات يكون ، عموماً ، لابلانسي ، يجري البحث عن تقدير للمتوسط والانحراف النموذجي ومراقبة استقراريتهما . وهكذا يمكن بالتالي اثبات اختلال الصنع ثم الاسراع في تصحيح الانتاج المسرف للاشياء المعيبة . ان مثل هذه الرقابة بحكم انها سلسلة من القرارات ، تخضع حكماً لطرق متسلسلة من تراكم الإعلام (والد ، 1950) .

العودة إلى التفاعليات العرضية - ان التبعية التسلسلية التي قال بها ماركوف Markov تبدو كتعميم طبيعي للترابط . في مثل هذه التفاعلية ، لا يتعلق التطور العشوائي ، انطلاقاً من اللحظة 1 ، الا بالحالة في اللحظة 1 نفسها وليس بالكيفية التي مكنت من الوصول إلى مثل هذه الحالة . والشئ الواجب لحظه هو ان ظاهرة ما مماثلة تحصل في انتشار الموجات .

نفترض نظاماً لا له عدد محدد (r) من الحالات الممكنة : E_1, E_2, \dots, E_r . في اللحظة صفر يتخذ النظام ، لا ، عرضاً احدي هذه الحالات ، مما يعطي قانون احتمالية أساسية . وفي لحظات معينة متتالية t_1, t_2, \dots, t_n يغير لا من حالته بشكل عشوائي .

ونفترض C_i الحدث الذي يتخذ فيه لا حالة E_i في اللحظة t_n : الاحتمالية في حالة $C_i^{t_n}$ ، المشروطة بكل التاريخ السابق ، ليست مربوطة الا بـ $C_i^{t_{n-1}}$ ، وبالنسبة الى سلسلة ثابتة ، لا تتعلق الا بـ n ، واذن فانها عبارة عن عدد P_{ij} ، احتمالية انتقالية من E_i إلى E_j . ان خصائص P_{ij} قد اوضحت ، بذات الوقت الذي تمت فيه دراسة احتمالية P_{ij} بالانتقال من E_i إلى E_j ، بخلاف عدد n من التجارب .

وإذا اتخذت الوظيفة الاحتمالية $X(t)$ القيمة x بالزمن t ، اتخذت الاحتمالية الشرطية $X(t, \xi) < \xi$ أي وظيفة التوزيع المشروطة تعبيراً هو $F(t, x; \tau, \xi)$ ، ذا كثافة $f(t, x; \tau, \xi)$. ان معادلات

كولموغوروف وشاپمان وسمولوشووسكي Smoluchowski تلعب دوراً أساسياً في هذه النظرية . إن البحث عن وظائف الكثافة قد حُل من قبل Kolmogorov وفيلر Feller .

ويتم التوصل - بالنسبة إلى بعض القيم الخاصة للوظائف الحدية المفترض وجودها - إلى معادلة فورييه Fourier ، مع حلها الأساسي من النمط اللابلاسي ، المعروف من زمن بعيد . إن الوظيفة العشوائية التي تتوافق مع هذا الحل هي دالة فينر- ليفي Wiener-Lévy ، المسماة دالة الحركة البرونية من جراء أن الصورة الانيقة التي تنتج عن المعادلات المدروسة تقتزن غالباً عند الرياضيين بهذه المسألة الفيزيائية . الواقع أن هذه المسألة أكثر تعقيداً ، وبعض الدراسات الحديثة (1959 ج . مالكوث) تحاول التوصل إلى نظرية أكثر توافقاً مع الواقع الفيزيائي .

الديمغرافيا العامة العرضية [العمليات العرضية = كل العمليات المحتملة والتي خضعت لتحليل احصائي] - إن المجتمعات الإحصائية البشرية هي المثل الاكمل لما سمي بالمجموعات المتجددة ، أي المتغيرة بفعل الولادات والوفيات والهجرات . فمن الطبيعي إذا دراستها بواسطة طرق التفاعليات العرضية . وإذا استبعدنا الهجرات ، نحصل على سلسلة ماركوف Markov ، التي يمكن افتراضها ، في التقريب الأول ، ثابتة .

ولكن هذا التطبيق ليس الاقسماً صغيراً من المجموعة . ويوجد أيضاً تغيير في مجتمعات الجزئيات التي يمكن أن تظهر وتزول وتخضع للهجرات .

في هذه الروحية الديمغرافية العامة قام ج . يو . يول G. U. Yule - الذي ادخل الكثير من الأفكار الباهرة والعميقة وقام بدراسات احصائية أصيلة - في سنة 1924 بتقديم نظرية رياضية حول التطور المرتكز على أعمال ج . ك . ويليس J. C. Willis (السن والمنطقة ، 1924) حيث عثر ، من خلال الطرق البسيطة ، على تعبير جديد تماماً عن التطور الاحتمالي .

في سنة 1927 ، وبمناسبة البقع الشمسية و « عدد وولف Wolf » ، طور Yule الفكرة المثمرة للحركة الطبيعية ، الدورية في مراحل السكون ، ولكن المضطربة بالصدمات المحتملة . هذا التصور الممتاز طُبّق سنة 1933 من قبل ر . فريش (R. Frisch) في دراسة الدورات والتفاعليات العرضية المتعلقة بالتطور الاقتصادي . إن الديمغرافيا العامة حول الجزئيات قد عرضهما ن . آرلي بالنسبة لمثل الاشعاعات الذرية . وفي سنة 1948-1951 عالج كندال D. Kendall هكذا نمو المجتمعات الاحصائية ونظرية الصفوف (الطوابير) ، في حين درس ج . ماليكوت G. Malécot التفاعليات العرضية في علم الوراثة . وعاد و . فيلر W. Feller ، وعمله ذو أهمية بالغة ، من الناحية العرضية إلى بحوث ف . فولتيرا V. Volterra حول « الصراع من أجل البقاء وتطور السكان » . في هذه الدراسة ، استخدم المعادلات ذات المشتقات الجزئية التي وضعها كولموغوروف Kolmogorov ، في حين لجأ بارتلث إلى الوظيفة المميزة الخاصة للمعادلة ذات المشتقات الجزئية المطابقة لمعادلة Kolmogorov .

الميكانيك الاحصائي الحديث - هناك تجديد عميق جداً في طرق هذا العلم ، حاصل في

الوقت الحاضر . ويقوم على الاستخدام المصمم الاكيد للطرق العامة في حساب الاحتمالات ، والتي برع آ . كنتشين A. Khintchine في تبين قوتها وخصوبتها (الاسس الرياضية لميكانيك الاحصاء ، الترجمة الانكليزية 1949) . ان كتاب « الطرق الرياضية لميكانيك الاحصاء » (1958) الذي وضعه بلان - لاپير Blanc-Lapierre وتوترتات Tortrat وكازال Casal يعطي دراسة عامة تذكر باعمال فولر Fowler وكنتشين Khintchine .

وهناك استعمال واسع للوظائف المميزة وللقواعد الحديثة في حساب الاحتمالات ، أتاح حل المسائل الأكثر أهمية ، وخاصة دراسة السلوك التقاربي والتي ادخلها العدد الكبير جداً من الجزئيات بالضرورة .

الطاقوية (ergodisme) - ان مسائل خلط الورق ومسائل البث المدروسة من قبل بوانكاريه (راجع مجلد 3) هما حالتان من حالات الطاقوية (ارغوديسم) . والحالة الأولى بلغت وضعاً (حالة دائمة حدية) تكون فيه احتمالية التبديلات المختلفة هي ذاتها في جميع الاوضاع ، بمعزل عن البنية الاساسية للعبة . أما في الحالة الثانية ، فهناك أيضاً وضع دائم ، جامد ، مستقل عن الخليط الأول للسوائل . وهناك مسألة مهمة هي مسألة القيم المتوسطة .

إن المتوسطية الطبيعية ، أو القيمة المتوقعة الرياضية [القيمة المتوقعة الرياضية لمتغير عشوائي متقطع X ، هي المتوسط الحسابة المتزنة بالقيم المحتملة في المتغير ...] تكون عادة وظيفة زمنية ، تمثل في كل لحظة شيئاً ما حوله تتم التقلبات .

إن المقدار الاحتمالي $X(t)$ يرمز اليه بـ $X(t, \infty)$ للتدليل على انه في كل اختيار لعشوائية اساسية (∞) يتوافق نوع من التطور تابع للزمن .

إن المتوسطية المأخوذة على طول « مسار نظام ما » تكون المتوسط بالنسبة إلى الزمن . وإن هي وجدت ، فانها تكون على العموم وظيفة للعشوائية الاساسية ، أي تكون متغيراً عشوائياً . ان الحالات المهمة هي الحالات التي تكون المتوسطتان فيها هما نفسهما .

الميكانيك الاحتمالي - حقق الميكانيك والفيزياء في مجال الموائع نجاحات كبرى . ولكن الجو ، رغم انه غاز ، قد استعصى على المعالجة بطرق واساليب الهيدروديناميك . وكما يقول ف . ويهرلي (الكون الاحتمالي ، 1957) ، ان علمنا بالموائع قد جرى تصوره خصيصاً لسلم بشري ، ولشروط تتم في المختبر ، وبكلام آخر ، انه علم الموائع « المنزلية » ، المحفوظة في الأوعية ، الخالصة من كل شائبة اضطراب وعموماً في « حالة توازن » . وكل شيء يحدث كما لو ان الرياضيات القابلة للتطبيق في الامكنة المتصلة ، قد كُفِت خصيصاً بالموائع المحدودة باسوار وأغشية ، لأن دمجها يتطلب معرفة بشروط الحدود .

والمائع الحق قلماً بتكيف بصورة كاملة ، ولكن لا تكيف الهيدروديناميك الكلاسيكي مع الجو واضح تماماً . إذ ان هذا الوسط هو بدون حدود معروفة . وعلى الصعيد الضخم في الارصاد الجوية (متيورولوجيا) الشاملة ، يتحرك بموجب حركات غير منتظمة ، وهو عرضة للاضطرابات

من كل شكل وحجم . وقامت مجموعة مميزة بالتصدي لهذه المسألة مؤلفة من ديديبانت Dedeant وبيهرلي وجياو Giao وشيريشيوسكي Scherechewsky ومويايال Moyal وباص Bass ، الخ .

ولهذه المسائل أهمية كبرى نظرية لأنها تبدو وكأنها تفرض رؤية جديدة تماماً لعالم مألوف بالجسيمات المحتملة . ولكن لها أيضاً أهمية ضخمة من الناحية العملية . فهناك تقدم من حيث التنبؤ بالمناخ : تجلّد أوديان ، ارتفاع الموج ، عواصف ، كل ذلك يجنب الكثير من المتاعب وينقذ حياة الكثيرين ، ويوفر مبالغ ضخمة .

إن وسائل الرصد ، التي أشار إليها لوفرييه Le Verrier ، يمكن أن تمتد الآن بسهولة لتشمل المحيطات ، والمرتفعات المشهورة والمسافات التي تتحرك فيها الأقمار الصناعية . وإذا يمكن الاعتماد على اعلام غني جداً .

إن الدراسة النظرية قد أدت إلى نتائج عامة جداً . فقد دلت بشكل خاص على ان الفضاء - الزمن يستخدم الجسيمات من مختلف السلالم (طوابق متراكمة من الاضطرابات) وأن هناك مكسباً كبيراً من تزويد هذا الفضاء - الزمن العشوائي بالاشتقاقية المزدوجة ذات المتوسطة الرباعية . ان تفاعل المفردات الفيزيائية يترجم بتبعية احصائية ارتباطية . ويحدث التطور بالتخلي عن هذه التبعية ، تخلياً يمرر الطاقة الحركية من طبقة اضطرابات إلى الطبقة الاسفل .

لا شك ، اننا ما نزال بعيدين عن الحلول الحاسمة ، ولكن الامر يتعلق هنا بجهد ملحوظ نحر التقدم في المسائل الاماس .

علم الفلك (استرونوميا) - ان عالم الكواكب ، والمادة التي تحتويها ، والحياة العجيبة للاشعاعات ، والجزئيات ، المتنوعة جداً التي تولد وتموت وتصطدم فيما بينها ، تجر وراءها سلسلة من الدراسات حيث يدخل الاحصاء أكثر فأكثر . وتبدو رؤى احتمالية متلازمة نوعاً ما مع هذه المسائل ، خاصة مع البنية ، ومع حركات الكون الكوكبي ، ثم مع مغامرات الجزئيات ، كالفوتون والالكترون ، والاشعة الكونية ، التي تجوب الفضاء وفقاً لتفاعلية عرضية (اتفاقية) مستمرة .

إن التقدم النظري وعلى صعيد المعدات قد أتاح دراسة أذرع مجموعتنا الشمسية ، ومراكز بثّ الاشعاعات والجزئيات ، كما أتاح تجديد مسألة دوران الأرض .

لقد ساعدت الطرق الاحصائية دراسة حقل دوران مجموعتنا الشمسية ، وحركات الدوران ، والمكوّن للحقل العمودي على سطح المجرة ، والذي يوضح الحركات الجيوية (على شكل منحنى الجيب sinus) تحت هذا السطح .

وخلال دورة (1958) للمؤتمر الدولي للاحصاء ، قدمت مجموعة من الفلكيين ، وعلماء الاحتمال والاحصاء شكلها ووجهها ج . نيمان J. Neymann نماذج جديدة من اجل دراسة

المجموعات الكبرى من المجرات ومن اجل دراسة المسائل الاحصائية في الاستروفيزياء [فيزياء الكواكب] : دوران المجرة (د. بارتون D. E. Barton وف. ن. دافيد F. N. David) ، والدراسة الاحصائية للمجرات (مويال Moyal ومس سكوت Miss Scott وشين Shane) ، ثم تأويل الارصاد الراديو - كواكبية بواسطة الطرق الاحصائية (شيور Schewer ورابلي Ryle) .

وخصص العديد من المؤتمرات من قبل الاتحاد الفلكي الدولي (كليفلاند 1951 وموسكو 1958 ، الخ .) لدراسة المخططات الشهيرة التي وضعها هرتزبرونغ - راسل Hertzsprung-Russell ، والتي تظهر عن طريق الغيوم المحددة وجرد القوانين الاحصائية : تقدير المسافات بواسطة البريق ، والنظرية الاحصائية حول توزيع المجرات ، والمسافات بينها ثم امتداد الكون ، كل ذلك دل على قوة وعلى اتساع العلاقات بين علم الفلك وعلم الاحصاء .

ويمكن التاكيد من رؤية الاساليب الاحصائية ، بوجود مشاكل لن تنتهي سريعاً ، وهي تقدم عوناً فعالاً وتتلقى دفعة قوية للامام .

خطط التجارب - ان الهدف الذي يسعى اليه المجرب هو الحصول - من اجل المسائل البيولوجية ، والزراعية ومن اجل البحوث الصناعية الخ - على افضل المعلومات في زمن معين وبسعر معين . ويعود الفضل بشكل خاص الى R. A. Fisher في تقديم التحفيزات والتصورات الاساسية وكذلك النتائج النظرية الضرورية . لقد استُدعي في رودامستد Rothamsted من قبل سيرجون راسل Sir John Russel ، في سنة 1919 ، فجلب ر. آ. فيشر معه ثورة حقيقية في اساليب الحصول على النتائج والاحكام العلمية المستخلصة منها .

في كتابه المسمى « مساهمات في الاحصاءات الرياضية لسنة 1926 » ، وردت هذه الفكرة الاساسية : « ان للتجارب الواسعة والمعقدة فعالية أعلى بكثير من التجارب البسيطة . ان أية حكمة أو كلمة مأثورة لم ترد غالباً ، فيما خص التجريب الزراعي ، كالتى تقول انه يتوجب علينا أن نطرح على الطبيعة القليل من الاسئلة بأن واحد ، أو حتى الاقتصار على سؤال واحد . والمؤلف مقتنع أن في هذا خطأ كاملاً . ان الطبيعة تقبل تماماً الاجابة عن الاسئلة المنطقية الموضوعية بعناية حتى أنها ، في حال طرحنا عليها سؤالاً واحداً ، ترفض الاجابة قبل حل السؤال الآخر السابق له .

إن نتائج مطلق تجربة تبقى متأرجحة ولذا يتوجب علينا أن نطبق عليها أساليب احتمالية ، تؤدي إلى تقدير للقيم المتوسطة ولقيم التشتت . وهذه الأخيرة لا غنى عنها لتطبيق اختبارات التوضيح (أي من اجل الحكم في : هل يمكن ، في فرضية ما H₀ ، ان تكون النتائج معزوة الى المصادفة ؟) . فضلاً عن ذلك يتوجب أن نحلل تشكّل النتائج بشكل يستبعد أويزيل بعض أسباب الخطأ المنهجية .

لهذه الاسباب المتنوعة ، أوجد ر. آ. فيشر مجموعة من الطرق : تحليل التباين ، الخطط العناملية Factoriels لدراسة مجموعة من العوامل بصورة شاملة .

وثمة مثل على ذلك : هناك ثلاثة عوامل يتوجب درس كل منها عند مستويين وهي A_1, A_2 ،
 B_1, B_2, C_1, C_2 . نشكل التركيبات الثمانية $(R=2^3)$:

$$A_1B_1C_1, A_1B_2C_1, A_1B_1C_2,$$

$$A_1B_2C_2, A_2B_1C_1, A_2B_2C_1, A_2B_1C_2, A_2B_2C_2$$

ونرى أنّ A_1 تتكرر أربع مرات وكذلك B_1 و C_1 ، وكذلك الحال بالنسبة إلى A_2, B_2, C_2 . الزوج A_1B_1 يظهر مرتين ، الخ . ونستطيع بفضل هذه التكرارات الحصول على التشتتات ؛ والخطأ الممكن يتمّ تقديره . فيقال أنّ الكتلة المؤلفة من ثمانية أجزاء تحقق خطة عوالمية .

ووجد ر . آ . فيشر مضطراً إلى استخدام ما كان يعتقد انه ليس الامجرد تسليات رياضية ،
 مثلاً : المربعات اللاتينية عند أولر التي يحتوي كل خط فيها وكل عامود مرة واحدة فقط حرفاً
 معيناً .

إن الجبر الخالص (حقل غالوا) يلعب في هذه المسائل دوراً مهماً . إن بعض الخطط
 تهدف إلى تخفيض عدد التجارب . والكتل غير الكاملة المتوازية تستعين بالجيومتريا الاسقاطية ؛
 وقد تمّ الحصول على قواعد جبرية متناهية الاناقة (شوتزنبرجر Schutzenberger) .

الاعلام القابل للقياس - يهدف العلم إلى اكتساب المعرفة ، وإلى التقدم الحاصل والممكن
 التحقيق عن طريق الرصد والتجريب . في نظرية التقدير ، رأينا أية معلومات تقدّمها ، بالنسب
 لمعيار (بارامتر) Θ ، عينة تتبع قانون احتمالية تظهر فيه Θ .

أدخل ر . آ . فيشر مفهوماً عميقاً جداً ، يمكن أن يسمى القدرة الاعلامية لقانون احتمالية
 فوق بارامتر واحد أو عدة بارامترات .

نفترض وجود قانون ذي بارامتر Θ ، وكثافة $f(x, \Theta)$ ؛ نحصل على : $\int f(x, \Theta) dx = 1$ مهما
 كان Θ ويتبع عن ذلك ان :

$$E \left[\frac{\partial \log f}{\partial \theta} \right] = 0 \quad \text{أو} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial f}{\partial \theta} dx = \int_{-\infty}^{+\infty} f \left(\frac{\partial f}{\partial \theta} \right) dx = 0$$

إن المقدار الذي أدخله فيشر ، والذي يتحكم بالتباين حول تخوم السلايقين
 هو $E \left[- \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \log f \right]$ أو $E \left[\left(\frac{\partial}{\partial \theta} \log f \right)^2 \right]$.
 واليوم يُعَيّن هذا المقدار باسم « اعلام ر . آ . فيشر » لتمييزه عن الانماط الاخرى الاعلامية
 التي سبق ادخالها (انظر أيضاً حول هذه المسألة الفصل اللاحق) .

ودلت أعمال ر . هارتلي R. Hartley (1927) وخصوصاً أعمال ك . آ . شانون (1948)
 Shannon على ان انتقالية الرسالة في وقت معين « قابلة للقياس » : فضلاً عن ذلك أيضاً ، هي
 قابلة للجمع .

إذا كان M مجموع رسالتين M_1 و M_2 ، فهذه القيمة الاعلامية R لها خاصية : $R(M) = R(M_1) + R(M_2)$. وإذا كان لدينا N_1 إمكانية من جهة ، و N_2 من جهة أخرى ، مجموعها N_1N_2
 إمكانية ، $R(N_1) + R(N_2) = R(N_1N_2)$. عندها تكون R إذاً لوغاريتمياً .

كل هذا ليس جديداً تماماً . يقيس الفيزيائيون درجة عدم التنظيم في نظام ما بواسطة قصوره : [القصور ، في الفيزياء ، مقدار يتيح ، في الترموديناميك ، قياس التفرق في طاقة نظام (قصور نظام ما يدل على مقدار الارتباك فيه) ، وفي نظرية الاتصال ، القصور هو عدد يقيس لا يقينية طبيعة رسالة مرسلة انطلاقاً من الرسالة التي سبقتها (ان القصور يكون معدوماً ، عند غياب السلايقين)] ، $E(\log f) = - \int \int \int f \log f \, du \, dv \, dw$ ، حيث تكون f ، في الفضاء ، كثافة السرعات . وقد عثر المتخصصون في الاتصالات على هذه القيمة التي تساوي ، بالنسبة إلى مجموعة p_1, p_2, \dots, p_n من الاحتمالات : $H = - \sum p_i \log p_i = - E(\log p)$.

وتكون قيمة H صفرًا في حالة اليقين حيث p_i تساوي الوحدة . وقيمتها الأكبر $\log n$ تتوفر عندما تساوي كل الـ $1/n, p_i$. ونرى ان هذا هو مقياس لجهل الباحث . اذ يستطيع هذا عن طريق الاسئلة (المتتالية) ان يزيد في معلوماته . ونرى ان كل جواب بلا أو نعم هو خيار بين 2^n إمكانية متساوية ، ويقدم وحدة اعلامية هي « الهارتلي » . وعند تجميع عدد n من الهارتليات ، نحصل على اليقين . وبسبب هذه الاختيارات الاولى ، نستعمل لوغاريتمات ذات أساس 2 .

الواقع ، ان الاحتمالات ليست دائماً متساوية . ولكن بالامكان تبين ان العدد الوسط من الاسئلة التي يتوجب على الباحث طرحها ، ان هو احسن اختيارها ، هو من مرتبة H وان هذه العبارة تكون تقريبية جداً اذا كان عدد التوقعات كبيراً . ان هذه العبارة H قد دُرست أيضاً من قبل هالفن E. Halphen (1940-1939) ونشرت سنة 1947 . وسلط هالفن كل انتباهه على الاحتمالات ، فادخل عنصراً ملحوظاً هو $f.c$ الضمني وقدم عبارة العزوم الضمنية .

هذا الحوار الاعلامي ، الملاحق حتى معرفة على درجات متفاوتة من الاكتمال هو بالذات حوار الباحث وحوار النظام الفيزيائي المدروس .

الاعلام المقدم بفضل العناصر ذات الارتباط العرضي (الاتفاقي) - ان الارتباط العرضي قد درم تماماً من اجل تمثله عددياً . وجرى الكلام بداهة حول رابط قوي أو رابط ضعيف نوعاً ما . وطرفاه هما الاستقلالية والرابط الوظيفي الذي يمكن أن يكون تطابقاً نظرياً [في الرياضيات التطابق النظيري هو التطابق بين عناصر مجموعتين بحيث أن كل عنصر من احدهما يتوافق مع عنصر واحد من الاخرى] .

وبحث جيني Gini وجوردان Jordan وك. بيرسون ، الخ . عن مؤشرات تأخذ في طرف ما قيمة 0 (صفر) وفي الطرف الآخر قيمة (1) ، وتكون دائماً محصورة بين صفر وواحد . وجمع فيرون Féron (1956) هذه النتائج مع نتائج الخاصة .

ونشير في هذا السياق من الافكار إلى المؤشر (الناجم عن بحوث شانون ، 1948) الذي يعطي الاعلام المقدم ، من قبل عنصرين عشوائيين ، احدهما عن الآخر ، ϵ و η ويكون التعبير في الحالة المتقطعة :

$$I_{\epsilon\eta} = \sum_i \sum_k P_{\epsilon\eta}(ik) \log \frac{P_{\epsilon\eta}(ik)}{P_{\epsilon}(i) P_{\eta}(k)}$$

إن هذا الاعلام هو عدم اذا كان الاحتمالان ξ و η مستقلين . ان مثل هذا المؤشر قد يطبق على عشوائيين مطلقين ، وعلى وظيفتين عشوائيتين . وقد أعطى نتائج ذات أناقة فخمة في الحالات اللابلاسية ، مع توسيعات متنوعة (غلفاند Guelfand ، كولموغوروف ، ياغلوم Yaglom ، كنتشين ، بنسکر Pinsker ، 1954 ، كورزليوغلو Korezlioglu ، 1959) .

إن العبارة $I_{\xi\eta}$ (اعلام متبادل بين ξ و η) يجب أن تكون أقل من الاعلام I_{ξ} (من ξ بواسطة ξ) أو I_{η} . وبالفعل :

$I_{\xi\eta} - I_{\eta\eta} = \sum_i \sum_k P_i \Phi \left(\frac{P_{ik}}{P_i} \right)$ حيث $\phi = x \log x$ ولكن نعرف أن $P_{ik}/P_i = P(k/i) \leq 1$. إن الدالة ϕ سلبية في حالات القيم الأقل من الوحدة . ويتبع عن ذلك انه عندما يكون ξ متغيراً يكون الاعلام المقدم من η أدنى من الاعلام الذي يقدم من η عن نفسه ، أي : $\sum P_k \log P_k - \sum P_k \log P_k$ (أو من الاعلام المقدم من ξ) . إن الاعلام المتوسط المرتبط بـ $J_{\eta/\xi}$ مع تثقيل P_i هو كما يلي :

$$J_{\eta/\xi} = - \sum_i P_i \sum_j P(j/i) \log P(j/i)$$

هذا الاعلام المتوسط المرتبط يجب أن يضاف إلى الاعلام الهامشي بحيث يتحصل لدينا :

$$J_{\xi\eta} = J_{\xi} + J_{\eta/\xi} = J_{\eta} + J_{\xi/\eta}$$

نتيجة شوتزبرجر - بإعطاء المقدار - الاعلام مسلماً معقولاً [المسلّم هو مجمل المفاهيم الاولى المقبولة بدون تبين والمختلة كأساس] استطاع شوتزبرجر Schutzenberger (1954) أن يدخل في نفس عائلة إعلام فيشر ، إعلام شانون وآخرين : إعلام والد Wald أو إعلام الفرز Tri ، الخ . إن كل إعلام هو القيمة الوسطى ، الممتدة لتشمل مجموع حالات عملية خطية على لوغاريتم الاحتمال . ومن المعلوم ان الاعلامات التي لا تحقق المسلّم المذكور ليست بالضرورة من هذا الشكل .

منطق المحتمل - إن نظرية احتمالية الاسباب ، كما تصورها ، أولاً بايس Bnyes ثم لابلاس ، تهدف إلى المسألة العامة ، مسألة تقدم المعرفة ، عن طريق التقييم العملي أحياناً ، وأحياناً كثيرة أيضاً عن طريق الاحتمالات ذات الترتيب المتصاعد غير المحدّد عددياً بالضرورة .

وتتيح قاعدة بايس والصيغ المنسوبة إليه ، انطلاقاً من قانون للاحتتمالية سابق على التجربة ، القول كيف يمكن للرصد أن يغير فيه . وسوف نعلمنا مثل هذا القانون في الاحتمالية شيئاً ما إن تمحور حول قيمة معينة .

إن تقديرات البارامتر (المتغير ، الوسيط) تسعى إلى هدف مماثل ، انما بوسائل مختلفة . وعلى كل يمكن أن نستمد منها معرفة ذات طبيعة احتمالية ، بواسطة اسلوب فسحات الثقة . وانبثقت أساليب التقدير التي وضعها ر . آ . فيشر عن الصعوبات التي اعترضت تطبيق قاعدة بايس . فهذه القاعدة تقضي بأن يكون السبب (المتغير) معتبراً كمجموعة عشوائية ، أو كنصر عشوائي . وتكون الحالات - التي تشكل فيها المجتمعات الإحصائية المدروسة بذاتها ، عينة من مجتمعات ذات بنية معروفة - مُرضية ولكن نادرة .

ولكن من النادر جداً أيضاً أن لا نعرف شيئاً عن المجهولات المدروسة ، دون القدرة ، في

كل حال ، على تحويل هذه المعارف إلى الاحتمالات بواسطة الاساليب الكلاسيكية . من ذلك ان التاريخ يقدم الكثير من الاحاجي مقرونة باعلام أساسي غير مكتمل . واقتراح أ . هالفن (1955) ادخال مفهوم « الارجحية » (المختلف تماماً عن مفهوم ر . آ . فيشر) ، وهو مقدار سيكولوجي يمكن أن يزداد أو ينقص عن طريق تغير « المجموعة الفرعية » الملائمة . ولكن ليس من « المحتمل القريب » توضيح قيمة عددية ، ويمكن دفع هذه المعرفة إلى الامام بالرصد والتجربة .

وكما أشار مورلات Morlat (1962) تتميز فكرة الارجحية بالجدوى الكبرى الناتجة عن استباق الاحتمالية من حيث المرتبة ، بالعمل الفكري . وربما اثبتت فكرة الارجحية ضلال وعقم بعض المنازعات التي تعود في تاريخها إلى بايس ولا بلاس . والصورة المجردة التي تُعطى عن هذا المقدار السيكولوجي تبدو كاحتمالية ذاتية . لا شك ان مفكرين عظاماً يفكرون من استعمال مثل هذه الاحتماليات ، من النوع الذاتي . والواقع ان الاحتماليات كلها هي ذاتية بشكل من الاشكال . وكذلك الحال بالنسبة إلى المنفعة التي هي الصورة التجريدية للقيمة .

أصول نظرية القرار - منذ زمن بعيد جداً والناس يفكرون في كيفية السلوك تجاه لا يقينية المستقبل . وحساب الاحتمالات الذي يلعب اليوم دوراً مفيداً جداً في هذا البحث ، كان له منذ البدايات ، ارتباط مباشر نوعاً ما به . إن الرجحانية (الاحتمالية Probabilisme) كما هاجمها بور - رويال Port-Royal [دير راهبات أسس في فرنسا سنة 1204 ثم وسع ، كان مهد حركة الجنسينية وهي قدرية تسليمية تدعو للعودة إلى الضمير قبل السلطة] كانت يومئذ بشكل خاص ، على ما يبدو ، نوعاً من الاعذار لسلوك مخاطر ، ما أن كان يوجد احتمال ولو ضعيف جداً . وفتش باسكال Pascal وفرمات Fermat (1654) عن القرار المعقول ، في حالات تتوفر فيها قيم عددية للاحتمال وللمبلغ الذي يربح أو يخسر . ان القيمة المتوقعة الرياضية كانت تشرع آنئذ بشق طريقة .

وهدف كتاب « من الافتراضات » « Ars Conjectandi » (1713) لـ جاك برنولي Bernoulli كان التطبيق على السلوك . وكان ليبين مقتنعاً تماماً بدور حساب الاحتمالات كفرع من المنطق وكداة مفيدة أيضاً . « ان القيم التجريبية ، وان كانت غير مضبوطة ، يمكن ان تقدم خدمات عملية جدية » هكذا كتب سنة 1703 . وقد نصح ج . برنولي ان يركز على معرفة كل الإعلام الممكن بدلاً من التركيز على الرهانات الرياضية .

وقدم دالامبير D'Alembert تحفظات ، معقولة نوعاً ما ، تجاه استخدام ج . برنولي للقيمة المتوقعة الرياضية . أما لا بلاس ، فلم يتردد ، بعد استعمال التعريف الكلاسيكي ، في الكلام عن الاحتمالات في حالات أعم بكثير . ولم يقدم ، على العموم ، قيمة عددية ، ولكنه قارن بين المجموعة الفرعية والمجموعة العامة . وقد أتاح ادخال تعريف دقيق للاحتمالية من قبل أ . بوريل ، والبدنه من قبل كولموغوروف ، طرح مسألة المجموعة بشكل أكثر تأكيداً .

هناك حالات تكون الارض فيها صلبة جداً ، مثل الرقابة على الصنع . وبالمقابل ، ان البحث عن قرار ، في حال وجود خيارات ، هو مسألة صعبة ، تبقى صيغتها مبهمه نوعاً ما . ومواجهة تمثيل الشكوك كانت هدف نظرية واسعة جداً حول الاحتمالات .

وقامت حركة واسعة جعلت من نظرية القرار الاداة الاساسية ، التي تشمل نظرية الاحتمالات ، ونظرية الالعاب [العاب الحظ] ونظرية الجدوى الخ . هذا التيار الفكري الخصب جداً أتاح دراسة لمجمل البديهيات [المسلمات] المعتبرة معقولة في السلوك . ولكن هذه المسلمات كانت أحياناً متعارضة ، والتأمل حول هذه النقطة الاخيرة مفيد للغاية .

وقد أثارت ندوة دولية حول « أسس وتطبيقات نظرية الخطر في الاقتصاد القياسي » (1952) نقاشات حادة . وفي ندوة ثانية ، للسنة 1955 ، بُحث في « النماذج الديناميكية في مجال الاقتصاد القياسي » . وأخيراً في سنة 1959 ، برزت في ندوة « حول القرار » الاعمال والتحسينات الجارية حول هذه المفاهيم الجديدة .

وقدم رامسي Ramsey وب . دي فيتي B. de Finetti الانطلاقة في هذا المضمار الذي يقوده مفكرون أذكى وأقوى . وشكل ج . ل . سافاج J. L. Savage الذي أثار إعجاب المجتمعين في سنة 1952 ، « مجموعة بديهيات » (Axiomatique) كانت عرضة للنقاش (أسس الاحصائيات ، نيويورك 1954) ، وقد أدت إلى النتائج التالية :

- 1 - توجد احتمالية عددية ، مرتبطة بالحالات المستقبلية ، وخاضعة لقواعد حساب الاحتمالات .
- 2 - توجد جدوى عددية مرتبطة بالنتائج .
- 3 - إن الخيارات المحدثة غايتها بلوغ الذروة في القيمة المتوقعة الرياضية للمنفعة .

هذه الوجهة من النظر - التي تركز على وجود أفضليات تخضع لبديهيات - قابلة للنقاش الحاد ، ولكن عمل Savage بدأ محفزاً للغاية .

وكذلك الحال باعمال من مثل اعمال ميلنور Milnor (تفاعلية القرار ، نيويورك 1954) . ودلت امثلة بسيطة نسبياً عن قرارات يجب اتخاذها ، مع الاخذ بالحسبان المستجدات الميتورولوجية غير المتوقعة ، ان الاستنتاج الحاصل يختلف تبعاً لمعايير معتمدة . وكون هذه المعايير ليس لها قيمة شاملة يؤكد على التعقيد المستمر في المسائل الواجبة الحل .

إن نوعية الذين يعملون في هذه المسائل تطمئننا على كل حال ، على ان نظرية القرار في مواجهة الشكوك تسير إلى الامام ويتوجب - من اجل معالجتها - الكثير من الدق ، والفراصة ، والذكاء ولكن - كما اثبت الذين كتبوا حول هذه المسائل - يمكن العثور فيها على عون فعال من القرارات الحقة (لوزورن J. Lesourne 1958 ؛ پ . ماسي Massé 1959 ؛ وج . ث . غيلبوه 1959 Guilbaud) دون التحلي مع ذلك عن هذه الرقابة على اللعب التي قد تمكن من حلول أكثر ذكاء .

الفصل التاسع

السيرنية

إذا لم يوجد أي مجال علمي لم يقرن ظهوره وتطوره بالمصاعب ، فإن ولادة السيرنية [العلم الذي يدرس أواليات الاتصالات والتوجيه في الآلات والبشر] وخطواتها الأولى كان ولا شك أقل يسراً - عند ظهورها - من أي فرع آخر من فروع العلم . وهذا يعود بالدرجة الأولى إلى أن الامر يتعلق ببناء حديث قلماً تعرض للمعالجة ؛ ويعود أيضاً إلى صعوبة فصل الخصائص العلمية عن المظاهر التقنية التي تعترف بها بشكل ضيق ؛ وأخيراً يعود إلى موقعها عند مفترق طرق العديد من المجالات المتميزة عنها ولكنها متعايشة معها تعيش تعاون . وقد ثبتت هذه الصفة في الكيفية التي ظهرت فيها السيرنية . في سنة 1938 قرر العالم الرياضي نوربرت فينر Norbert Wiener وطبيب القلب آرثر روزنبلوث Arthur Rosenbluth القيام معاً باستكشاف « ما لم يتم استكشافه » من المعارف ، أي هذه المجالات المهملة لأنها واقعة في مناطق وسط بين مختلف العلوم . واتسعت مجموعتهما واستقبلت باحثين ينتمون إلى المجالات الأكثر تنوعاً ، وهكذا تكونت روحية تعميمية تُفيد ، بشكل متبادل ، البحوث الأكثر تنوعاً . وبشكل من الأشكال ، هذا نوعاً ما الشيء المشترك بين هذه المقدمات المتنوعة هو الذي يستحق أن يعمد باسم « سيرنية » . ان أيضاً من هذه البحوث لم يدفع به إلى نتائج القصوى ؛ وفي الواقع توجد سيرنيات يميل بعضها نحو الرياضيات ، وبعضها نحو الإلكترونيك ، وبعضها نحو البيولوجيا ، وأخرى نحو التطبيقات الصناعية . ونتج عن ذلك كله منازعات تعريف حقة (قامت جمعية دولية للسيرنية ، أسسها ج . ر . بولانجه G. R. Boulanger ، فعددت ثلاثة مؤتمرات دولية منذ 1956 أثناءها توضحت تعاريف السيرنية وعلاقتها مع الفروع العلمية الأخرى الملاصقة لها) .

وفي معناها الأقوى والأضيق ، لا تعتبر السيرنية الا كنظرية في العمل الهادف وفي التكيف . وحول هذا الجذع بزغت مجالات عرف انماؤها إلى السيرنية من قبل البعض ، ورفض من قبل البعض الآخر . إنها نظريات الاعلام ، والاستنتاج والاستدلال الأوتوماتيكية والتكهن ، وعقلية الدقة ، والقرار (مع تضمينها البحث العملياتي) ، وحتى التسيير الآلي (الأتمتة) .

I - نظريات الاعلام ونظرية الاتصالات

مختلف مفاهيم الاعلام - إن أول تصور واضح وعلمي حول مفهوم الاعلام الانتقائي يعود إلى نيكست (Nyquist 1924) فيشر هو أول من أدخل كلمة «اعلام» بالمعنى الرياضي ، وذلك بمناسبة نظرية المصفوفات الهسية . وهذه النظرية وإن لم تعادل تماماً مفهوم الاعلام الانتقائي ، فإنها تقترب منه بشكل كاف فتتميز بذات الوقت كما يتميز هو ، عن المعنى الشائع . راجع أيضاً الفصل السابق) .

وفي سنة 1927 قدم هارتلي هذا المفهوم خطوة إلى الأمام عندما بين - بمناسبة النقل الجيد تماماً والاقتصادي للبرقيات - كيف يمكن قياس المقدار الذي يتوافق مع هذا النقل ، بواسطة وحدة سميت « هارتلي » ثم B. I. T. « بته » اختصاراً لكلمة (Binary Unit) .

وتوافق هذه الوحدة مع الحالة التي يشار فيها - إذا كان الاخبار المعطى صحيحاً أو كاذباً - إلى أن كلا من الاحتمالين له نسبة احتمالية بمعدل 50% . ويمكن العثور على عنصر داخل مجموعة وذلك باجراء انتقاءات عن طريق التناوب ، حين يساوي كل « فرقان » $dichotomie$ بته واحدة (1 bit) ، وعدد البتات التي تسمح بالوصول إلى عنصر ما داخل مجموعة (n) من العناصر يساوي $\log_2 n$. والرسالة المقتضية عدداً (n) من الخيارات بين عدد (K) من الرموز تحمل كمية من المعلومات : $I = n \log_2 K$. والقاموس المؤلف من 100 000 كلمة يساوي 16 إلى 17 بته .

في سنة 1948 و 1949 عاد ك . ي . شانون وو . ويفر من جهة ، ون . فيشر من جهة ثانية ، إلى هذه الأعمال ، وأسسوها على أسس رياضية متينة . وبعد ذلك بقليل درس كولموغوروف وبلان - لابيير الصفة الاحصائية في الاعلام الانتقائي ، تحضيراً لربطه بنظريات أعم .

وبذات الوقت الذي كان فيه مفهوم الاعلام الانتقائي يزدهر ويصبح أكثر تماسكاً أخذت تظهر مفاهيم مجاورة مربطة مثله ، انما متميزة عنه بشكل واضح .

ومنذ 1920 وضع سير رونالد فيشر الطريقة الاحصائية - المسماة طريقة « خطوة التجربة » - التي تتيح الاستفادة من المعلومات المحتواة ضمن مجموعة من المشاهدات بقصد تقليل الابهام في تقدير كمية مجهولة . وفي حين لم يعرف الاعلام الانتقائي - الذي يعدد الخيارات - الا الاعداد الصحيحة ، يصلح اعلام Fisher أيضاً في الحالات التي تصل فيها المعلومات بشكل مستمر . وهذا المفهوم ، المرتبط بتحديد الدقة الممكنة في تجربة مُجرّاة بقصد تخمين كمية مجهولة ، يلعب دوراً مهماً في منهجية التجربة .

ويعتبر « اعلام والد » الذي اقترحه آ . والد سنة 1935 ودرسه نيمان انتقاء بالغبلة المتتالية ، مقروناً بعدد المشاهدات أو التجارب التي يجب أن يقوم بها باحث لكي يتخذ قراره بين فرضيتين ، ان الاهمية الرئيسية في اعلام والد تقوم على أنه يتيح - عبر فصل جديد من الاحصاء الرياضي - القيام بالتحليل التعاقبي ، ومدّ جسر بين النظرية العلمية في الاستقراء ونظريات القرار والألعاب الاستراتيجية .

هذه الأنماط الثلاثة من الاعلام - وان وجب عدم الخلط بينها - لها فيما بينها ميزة ثمينة وهي امكانية ترييضها . يستخدم اعلام وأكّد مقداراً ما يعمم به الاعلام الانتقائي . في سنة 1951 اقترح كولباك Kolback ور . آ . ليبلر Leibler تعميماً لمفهوم الاعلام يحتوي كحالات خاصة مفاهيم شانون وهارتلي وفisher . وهناك مفاهيم أخرى إعلامية قد ظهرت أيضاً مختلفة نوعاً ما عن الانماط المرئضة التي ذكرناها .

والاعلام البيئي هو مجمل المعلومات الذي يسمح بوصف وتمثيل وبيعادة تكوين ، نوعياً وكمياً ، بنية أو شكل ما (شيء مادي ، ظاهرة فكرية أو معلومة) . وتعادله مع الاعلام الانتقائي مقبول عموماً ، ولكنه لم يثبت على ما يبدو .

أما « الاعلام الدلالي » [علم دلالة الألفاظ وتطورها] [كارناب Carnap) ، أو « المعنى » فانه يمثل ما هو مشترك في الكيفية التي يفهم بها كل الناس تقريباً معنى الكلمة ذاتها ، أو الجملة ذاتها ، أو الرسالة ذاتها . وأما « الاعلام الجمالي » (1952 ، آ . مولز Moles ، م . بنس M. Bense) فيوضح « حقّ حرية » يحيط بكل إشارة في الرسالة . وأخيراً « الاعلام الشخصي » يتميز بالكيفية التي يفهم بها الفرد رسالة ما أو يستشعرها بخلاف غيره . وفي حين أن الاعلام الدلالي هو بين شخصين ومشارك يكون الاعلام الشخصي ذاتياً وتفاضلياً .

هذه المعاني المختلفة هي ذات تعاريف متنوعة جداً ، وفي أغلب الأحيان معرفة تعريفاً شيئاً ، ولا يجب الخلط فيها ، ولكن النظرية العامة للإعلام التي قد تتيح ادراك ما بينها من علاقات ، تبقى واجبة الصياغة .

الإعلام والقصور - ان معلومات هارتلي - شانون (أو الاعلام الانتقائي) واعلام فيشر ، ووالد ، وفي النهاية الاعلام البيئي ، لها محتوى « أقل غنى » من المعلومات الدلالية والشخصية . ولكن المعلومات الأولى [الانتقائية] تمتاز بأنها قابلة للترييض [من الرياضيات] . فضلاً عن ذلك ، ان واحدة منها ، الأفقر ، تتطابق ، وربما تنماهى ، مع مقدار أساسي موجود في الفيزياء هو القصور .

في سنة 1871 . كان ج . ك . ماكسويل G. C. Maxwell أول من فكر في تقريب مفهوم الاعلام من المفاهيم الأساسية في علم الطاقة (انرجيتيك) . وسهل ل . بولتزمان L. Boltzmann هذا التقارب عندما تحقق في مفهوم القصور وعرفه بأنه ، بفارق ثابتة واحدة ، يساوي لوغاريتم احتمالية تشكّل كياناً ما داخل مجمل مكون من كيانات أخرى ممكنة .

ولكن إلى ل . زيلارد L. Szilard يعود الفضل في فهم هذا الاجتياح الذي حققه مفهوم الاعلام في مجال الطاقة . في سنة 1929 ، استعان زيلارد بالمفارقة الشهيرة السمسة « شيطان مكسويل » ، فبين ان معلومة « بنة » واحدة ، يجب أن تجر وراءها تخفيضاً في قصور هذا المجمل تساوي $k \log 2$ كما ان المصدر الذي تنبثق عنه هذه المعلومة يجب أن يرى قصوره يزداد بنفس الكمية . ويقول آخر ان القصور يستغني بالاعلام . ولكل معلومة قصور سلبي يوافقها .

ولم يشر عمل زيلارد Szilard الكثير من الصدى حتى جاءت الحرب العالمية الثانية التي عرفت النهضة السريعة والقوية في نظرية الاعلام . وعاد ن. فينر N. Wiener وشروندجر E. Schrödinger كل على حدة ، إلى هذا التقريب بين الاعلام الانتقائي والانتروبيا (القصور الحراري) السلبية والذي سماه ل. بريلوين L. Brillouin : « نيفغنتروپيا Neguentropia » . ومد د. غابور D. Gabor إلى الطاقة الكمية (الانترجنك الكانتيكي) [من كانتا] حقل عمل الاعلام الانتقائي وقرر عدم استمراره . ان أصغر كمية من النيفغنتروپيا - اللازمة للحصول على اعلام من « بته » واحدة - تساوي : $0,7k$ (باعتبار k ثابتة بولتزمان Boltzmann) .

أما مسألة معرفة ما إذا كان الاعلام الانتقائي متماهاً مع النيفغنتروپيا - وانه يستطيع ، بالتالي ، كما يظن ل. بريلوين L. Brillouin ، أن ينضاف إليها - أم أنه يتجانس معها فقط وأنه يظهر بنفس الصيغة الرياضية ، هذه المسألة لم تحسم نهائياً على ما يبدو . ان اعلام فيشر مرتبط بقياس تقلبات النيفغنتروپيا .

واتضح - منذ أعمال زيلارد وغابور Gabor وأعمال مال كي Mac Kay وج. لويب ، ورفالي وآ. بلان - لا بير ، الخ - بصورة متزايدة ان النظريات المربطة في الاعلام يجب أن توضح في أساس كل نظرية دقيقة حول القياس ، في العلوم الفيزيائية . فهذه النظريات وحدها تسمح بمعرفة التفاعل بين الراصد وبين العمليات التي بواسطتها يمكنه أن يقيس الظواهر المرصودة .

نظرية الاتصالات - تدرس هذه النظرية المسائل التي طرحها البث ، والنقل والتلقي للمعلومات الانتقائية .

ان النظرية الرياضية حول الإشارة قد استكملها ج. فيل J. Ville . و. فينرود . غابور وتولر ، والرسالة تتألف من تتابع إشارات تمثل معلومات مكوّنة بشكل مناسب . ان مشاكل التكويد أو الترميز وفك التكويد كانت موضوع أعمال عديدة ، من بينها يشار إلى نظرية التقطيع أو الأوزان التي وضعها ب. مندلبرو .

وقد يشاب نقل الرسالة بقلة معيقات منها : التشتت ، التمزق ، الضجيج . وقد جذبت السيرينة الانتباه حول الفكرة المعممة ، فكرة الضجة ، واثاحت دراستها رياضياً .

فمنذ 1940 بين فينر وكولموغوروف الفائدة الحاصلة من النظر إلى الضجة كحدث احتمالي . ويمكن اعتبار اعلام والد Wald كاعلام مقرون بالضجة . ويتوافق « اعلام المتري » الذي وضعه ماك كي تقريباً مع العلاقة بين الزخم في الإشارة والزخم في الضجة التي تضيع معنى الاعلام .

ويدخل مفهوم الحشو والزيادة في العديد من الظواهر الطبيعية ، في الكلام وفي طرق استقراء الكتابات السرية أو اللغات غير المعروفة تماماً . ودراسته محكومة بقاعدة صاغها شانون وأثبتها كتشين .

ومهما كانت طبيعة وشكل سلسلة من المعلومات ، فإن نقلها يتعلق بالصفات وبمزايا القنوات

التي تنقلها . كتب أشبي Ashby يقول : « قبل أعمال شانون ، ساد الظن بأن تغيير القناة يمكن دائماً من نقل مزيدٍ ولو قليل من المعلومات » . الواقع هناك حدٌ أعلى ممكن في الوحدة من الزمن ، كما بين ذلك هارتلي وفينر وشانون ، فقد قدم هذا الأخير سنة 1949 ، الصيغة التي تدل على « طاقة » خط اتصال فيه ضجّة . ووسعت هذه النتيجة ، في سنة 1950 ، من قبا غابور فتمثلت حالة المجالات غير المستمرة . فضلاً عن ذلك اخترع غابور وحدة اعلام « لوغون Logon » تستخدم لقياس طاقات قنوات النقل المستعملة .

وتشكل نظرية الاعلام ونظرية الاتصالات الآن بذاتها مجالات علمية تتمتع باستقلالية شرعية : انما بذات الوقت ، تتجاوزان بشكل واسع مجالهما الخاص ، وتقدمان خدماتهما في غالبية العلوم ، خاصة في السيكونفزيولوجيا وفي العديد من التقنيات (ان الاذن البشرية حساسة حتى واحد من مليون من البتات بالثانية ، وللعين البشرية خمسمائة مليون بته في الثانية ، والدماغ البشري يفكر على أساس عشر بتات في الثانية . ويرى ماك كي ان الاحساس بانسياب الزمن ليس إلا تقدير الغزارة (الكثيرة أو القليلة) في المعلومات ، والتي تدخل في وعينا بشكل مستمر عملياً . ونجد أيضاً نظرية الاعلام في محاولات تفسير أواليات الذاكرة واكتشاف الاشكال) .

II - أتمتة الحساب والاستنتاج

تطورات الآلات الحاسبة - تقدم لنا الآلة الحاسبة مثلاً جديداً عن مجال يبقى ان نقرر ما إذا كان ينتمي أم لا إلى السيرية . فتطور هذه الآلات يتعلق ، بصورة أساسية ، بتاريخ التقنيات ، فلا نذكر عنه هنا الا بعض النقاط الأساسية في تاريخ الآلات المسماة رقمية .

من المعلوم أن الآلات الأولى الحاسبة صنعت في القرن السابع عشر من قبل شيكارد (1624) Schikard وباسكال (1642) وليبنيز Leibniz 1672 . والمرحلة التالية تصورها وحققها عالم رياضي ومحاسب هو شارل باباج Charles Babbage (1792 - 1871) الذي أدرك تماماً ما يجب أن يكون عليه تصميم آلة معقدة ، أي قادرة ، ليس على دمج الاعداد بحسب أي من العمليات الحسابية الأربع ، بل أيضاً على الجمع بين هذه العمليات وفقاً لسلسلة معينة ووفقاً لصيغة . وبفضل مساعدة استطاع ليس بناء مثل هذه الآلة ، بل على الأقل صنع مختلف اجزائها التي لم تجمع على الاطلاق ، وقد عرضت في المعرض الدولي في لندن سنة 1851 . وحتى لو تم جمعها بنجاح لم تكن آلة باباج لتعمل جيداً بسبب الصعوبات الميكانيكية المستقلة عن تصميمها .

وفي سنة 1879 ، بين لورد كلفن امكانية حل معادلات تفاضلية بواسطة آلة ، وعاد إلى التصميم ل . ورايت L. Wainwright في سنة 1923 .

في سنة 1925 صنع ف . بوش V. Bush أول محلل تفاضلي ، ثم في سنة 1930 و 1962 ضمنه برنامج حساب .

في هذه الاثناء ، وبفضل المعون التقني من شركة آي . بي . أم I. B. M. عاد هـ . هـ . ايكن H. Aiken إلى مسألة الآلات المعقدة عند النقطة التي تركها باباج ، وبين 1937 و 1944 صنع أول آلة ميكانيكية ذات برنامج أوتوماتيكي ، مارك I . في هذا الوقت ظهرت الـ « انياك » E. N. I. وهي آلة الكترونية قادرة على القيام بـ 32000 عملية في الثانية ، وقد صممها ج . و . موكلي J. W. Mauckly و . ج . أكرت W. J. Eckert في اطار الجهد الحربي الأمريكي .

وبعدها سار تاريخ الآلات الحاسبة الكبرى في اطار الكتروني . هذه الآلات ذات الانتاج المدهش دخلت في قطاعات يزداد اتساعها في الحياة العصرية .

وغالبة الحسابات المتعلقة بإدارة المشاريع الكبرى ، والمصارف وشركات التأمين ، والوزارات الاقتصادية والمحاسبات القومية ، أصبحت في عهدة هذه الآلات اليوم . وكذلك أيضاً حال الحسابات التي لا تنتهي ، الضرورية في صناعة الصلب أو في تنظيم مسار السكك الحديدية أو من أجل توجيه قمر صناعي . فمكتب الارصاد الجوية ، والمرصد ، والمعمل الذري ، ومسرّع الجزيئات لم تعد تعمل بدون هذه المستلحقات . وأخذت الآلات الحاسبة تغزو مختبر البيولوجيا والعيادة الطبية . ونذكر في هذا المجال آلات الفحص (التشخيص) الاوتوماتيكي . وهي لا تطمح اليوم إلى الحلول محل الطبيب ، بل هي تقدم له تشخيصاً يأخذ في الاعتبار كل التعقيدات الممكنة الكامنة في الاشارات الباثولوجية الملحوظة من قبل المريض أو الطبيب . ويبقى أمام هذا الأخير أن يراجع التشخيص الأوتوماتيكي ويدقق به حتى يأخذ في الاعتبار المعطيات المختلفة التي لم يستطع ادخالها في الآلة ، مثل المظهر العام للمريض ، وسلوكه السيكولوجي الخ .

هذا التنوع في التطبيقات هو منبع التقدم المتنوع الذي أعطى في الغالب ثماراً بعيداً عن تربتها الأصلية ، ورفعت بعض هذه الثمار بالنظرية بالذات إلى مبادئها الأكثر خفاء .

إن التعداد الثنائي - الذي أوصى به ل . كوفينغال L. Couffignal منذ 1938 - وصل إلى درجة تبسيط المساعي الحاصلة داخل آلة حاسبة . ويمكن تحقيق هذا التعداد بفضل أي تجهيز توصيلي ، مثلاً التركيب المترجرج ، وهو حلقة الكترونية ذات متارجح اخترعها أ . جوردان E. Jourdan سنة 1919 .

ولم يصبح تسجيل كمية كبيرة من المعطيات ممكناً إلا بعد اختراع « الذاكرات » المتزايدة الاتساع ، والتي يدخل ذكرها في « تاريخ التقنيات » . إن كل عنصر في الذاكرة قادر على حفظ عدد من الحالات الفيزيائية ، يستطيع تلابعها أن يمثل أعداداً . وبالمقابل هناك تناغمات أو تواترات تتجول في ذاكرات ذات حلقات عاكسة ، وفي النهاية قلما توجد ظاهرة فيزيائية أو كيميائية لا يمكن استعمالها في الاتصالات ، وبالتالي ، من أجل خزن المعلومات أو ارسال أو قطع الاشارات .

يعود الفضل إلى ج . فون نيومان في فكرة تسجيل ، لا المعطيات العددية فقط ، من مسألة

ما ، بل أيضاً التعليمات التي تتيح حل هذه المسألة : فرز المعطيات ، عمليات حسابية أو مقارنات يجب إجراؤها ، الاحتفاظ احتياطاً بالنتائج ، الخ . وفي سنة 1951 ، اخترع ويلكس Wilkes تقنية « الميكروبرمجة » ، ومن 1952 حتى 1954 ظهرت « مكتبات » البرامج المصغرة ، وبرامج التأويل . المصغرات ، الخ . فضلاً عن ذلك أناحت « سجلات المراجعة » - التي اخترعت سنة 1950 من قبل ف . و . ويليامس وت . كيلبورن وفريقهما في جامعة منشستر - تغيير بعض التعليمات بالضبط قبل تنفيذها .

إن ادخال التعليمات في الحاسب يشكل خطورة رئيسية . كيف يمكن التكلم مع الآلات ؟ فلكل نمط من الحاسبات « لغة » تتوجب معرفتها حتى تستجيب لنا . وبدت « لغة » الغول (Algol) التي اقترحت سنة 1958 في مؤتمر زورنغ قابلة للتكيف مع كل انماط الحاسبات المعروفة .

نظرية الآلات لمعالجة الاعلام - إن هذه العبارة « آلة حاسبة » هي عبارة مضللة نوعاً ما . وربما كان من الأنسب استعمال عبارة « آلات دامية » ، من أجل المطابقة مع نوع العمل ومع تخصص هذه الأجهزة . وتستبدل هذه التسميات اليوم بعبارة « آلة لمعالجة الإعلام » والتي تمتاز بأنها لا تحكم مسبقاً على المسائل المعالجة أو على الطرق المستعملة .

هذا الانتقال من الحساب « الارثميتيكي » ومن المجال العددي إلى العمليات ذات البنية المنطقية (وربما من الأنسب القول « البنيات » باختصار) ما كان يمكن أن يتحقق دون أعمال التقريب التي قام بها فلاسفة ورياضيون ، أعمال توضححت في القرن التاسع عشر ، بعد خلق الحساب المنطقي من قبل Boole وبعد « بدهنة » الرياضيات بصورة تدريجية (راجع مجلد 3) . ولكن يبقى ربط هذه الدراسات بالبحوث التقنية حول الآلات الحاسبة .

ومذ أول جسر منذ 1937 من قبل كل من أ . شالون الذي بين أن حلقات النقل الاوتوماتيكي تخضع للجبر المنطقي الذي قال به بول . ويستخدم هذا الجبر بالذات كاساس « لحاسبة الحقائق المنطقية » التي وضعها كولن Kolin وبوركهارد (1947) . ونذكر أيضاً الآلات المنطقية التي وضعها مالك كالوم وسميث Smith (1951) وآلات هـ . ش . هاتشر Hatcher (1959) وس . سيكاتو وأ . ماروتي .

وبذات الوقت الذي تحققت فيه هذه الإنجازات المادية ، على تواضعها يومئذ ، إنما التي كان لها الفضل بفتح مستقبل واعد ، قامت النظرية العامة والتجريدية للآلات التي تعالج الاعلام ، لتلحق ، بالتفاقة غير موقعة ، باحدى المكتسبات الأكثر أهمية في تاريخ الرياضيات الحديث . في سنة 1936 ، حدد آ . م تورنغ ما سمي « بـ » آلات تورنغ . إن هذا التعبير لا يدل على أجهزة بنيت فعلاً ، بل على النموذج التجريدي والعام لكل آلات معالجة الإعلام .

لقد صممت هذه « الآلات » لتقديم جواباً على السؤال التالي : « كيف يمكن بدقة تحديد مفهوم رياضي مناسب للفكرة الغامضة حول وظيفة الأعداد الصحيحة القابلة فعلاً للحساب ؟ » . بين تورنغ أولاً إن آتانه يمكن أن تنتمي إلى انماط مختلفة بكمية قابلة للعد ، ومجموعتها وإن كانت لا متناهية ، فهي لا تشكل إلا قسماً صغيراً من مجموعة الأعداد الصحيحة ، وقرر أيضاً أنه

بالإمكان تصور خطط « لآلة تورنغ شاملة » تستطيع اتخاذ نفس القرارات التي تتخذها آلة تورنغ خاصة مهما كان نوعها ، يمكن دائماً وصف بنيتها وتعليماتها بواسطة كود [مصطلح] وبواسطة « نحو » الآلة الشاملة ؛ اليس هذا هو وضع الإنسان تجاه الآخرين والعالم الخارجي ؟

هذه الأفكار التي تدور حول تعريف البنية العامة ، والامكانيات والحدود التي تقف عنده الآلات في معالجة الخبر - سواء تخصصت في حسابات ارميتيكية أو عمليات منطقية - كانت حاضرة في الجو . في نفس هذه السنة 1936 قدم شورش وكلين وكالمار وأخيراً بوست أجوبة تعادل رياضياً أجوبة تورنغ ، رغم انها قدمت بشكل لا يثبت امكانية تطبيق هذه الأفكار على حل مسألة الفكر الاوتوماتيكي . والواقع منذ 1954 ، لقد قام ك . غودل K. Godel بحل نفس المسألة . وجوابه كان يتطابق مع هذه القاعدة المدهشة التي وضعها والتي تشكل بدون شك النقطة الأبرز والأحد في تاريخ الجيومتریات غير الإقليدية وفي بدهنة الرياضيات بالشكل الذي توصلت إليه .

وكان لا بد من وجود رياضيين لتوجيه الآلات الحاسبة العملاقة ومن أجل ابتكار الاكمل منها ، ولكن الآلات الحاسبة قلماً تستخدم من قبل الرياضيين . ونذكر كتشائج رياضية خالصة ، العدد الأكبر الأول المعروف وهو $2^{400} - 1$ ثم الاعداد الـ 100 000 الكسرية الأولى من الـ π (1958) على آلة أي . بي . إم I. B. M (704) . لا شك ان فائدة هذه الانجازات كانت عدماً على الصعيد العلمي البحث . ولكنها تقدم الدليل على طاقات تتجاوز مستوى الحشرية الخالصة فقط .

أوتوماتية الالعب الاستدلالية - ان بعض الالعب الاستنتاجية الخالصة تنتمي في الواقع إلى مجال الرياضيات . وأهميتها أن مضمونها الترفيهي مقرون ببنيات تصعب معالجتها بالرياضيات التقليدية ، مما يلفت إليها جهود الرياضيين الطليعيين . والبحث في اخضاعها للاوتوماتية يقتضي تحليل بنياتها .

في سنة 1864 اقترح ش . باباج Ch. Babbage وكذلك د . روجرز سنة 1874 خطط اوتومات يلعب لعبة « الدوائر والصلبان » (تيك - تاك - توك) . وكانت أولى الآلات المصنوعة للعب بهذه اللعبة - المؤتممة (automatisé) على يد ب . كالدول Caldwell ، كانت آلات د . د . و . دافيس Davies (1949) ون . اليوت (1950) .

اللعبة نيم Nim وهي حالة خاصة من لعبة صينية « فان - نان » فيمكن ان تعالج أوتوماتيكياً . وحلها يرتبط بدالة غروندي (ش . برج وم . ب . شوتزبرجر) التي ترد إلى نظرية الرسوم البيانية . في سنة 1951 برمج ف . و . ويليامس آلة فرانتى Ferranti ، بحيث يتأكد الريح في لعبة نيم (Nim) ، إذا لعبت الآلة الضربة الأولى .

ويمكن أيضاً اثمته بعض أوضاع اللعبات ، بشكل كامل ، مثل لعبة الضامة [الداما] أو لعبة الشطرنج ، إنما بعد تخفيف العناصر بحيث تحصل النتيجة بعد ضربات عدة . وأول آلة يمكن أن تعالج بدقة وضعاً شطرنجياً معيناً ، صمّمها المهندس الاسباني ل . تورس كيڤيدو : لقد صمم هذا الروبو سنة 1899 ، وصنع سنة 1911 ، بحيث يدور ميكانيكياً وكهربائياً ، ولكنه لم يكن سوى لغاية واحدة متضمنةً معدات مختصرة جداً . ولكن ، بناءً على هذه المعطيات ، كان بإمكانه ، انطلاقاً

من أي موقع مشروع ويشترط تلعب الاوتومات أولاً ، ان ينهي الحصة بنجاح . ونقل الانجاز نفسه إلى منظم (حاسب) الالكتروني على يد فان در بول Van Der Poel . وبعد ذلك ، صنعت نماذج أخيرة مبسطة نسبياً ، من ألعاب متنوعة ، فتأتمت بكاملها . وأخيراً برمجت عدة آلات لمعالجة الإعلام بحيث تستطيع حل مسائل بسيطة في الشطرنج (د . برنز ، 1951) ولعبات أخرى .

التأويل السيرنيتيكي للظواهرات البيولوجية - سرعان مانتين بأن موديلات البرامج أو أساليب التذكر ، المخصصة لآلات الحساب تتقارب أحياناً - بل وأحياناً تتشابه - مع موديلات الظواهرات البيولوجية أو الفيزيولوجية .

في سنة 1938 بين و . راشيفسكي W. Rachevsky ان موديلات تجريدية من الحلقات الكهربائية تمكن من التثبت من بعض خصائص الحلقات العصبية ، خاصة تلك التي تشكل سلاسل مغلقة . هذه ريضها و . س . ماك كولوش وو . بيتس سنة 1943 ، ثم راندال وهوسهولدر وصيغت بواسطة جبر بول Boole ، ثم أخيراً دونت على أساس احتمالي . ومنذ 1922 ، قدم ر . لورنت دي نو الفرضية القائلة بوجود سلاسل من النيرونات الارتدادية في الدماغ ، قادرة على حفظ ايقاعات طويلة زمن طويل جداً ، هذا التفسير عاد إليه آ . فوريس A. Forbes (1929) وم . و . رانسون وج . ك . هنسي Hinsey (1930) ثم تابعه حتى أيامنا لورنت دي نو وفون فورتر Von Foerter وباحثون آخرون .

ودلت التجارب التي أجراها سنة 1961 غيجو (Gaijo) على الدودة المتجددة بسرعة (المبطنة Planaire) على ان ذاكرة هذا الدود وبالنسبة إلى بعض التغيرات مع الانعكاسات الشرطية - تتعلق مباشرة بوجود الاسيد « ريبونيكلييك » (A. R. N) Ribonucléique وهي قابلة للانتقال إلى دودات أخريات ، بواسطة حقن مأخوذة من الأولى . ويبدو من هذا وجود دليل على ان الكائنات الحية تعمل كآلات تتضمن برامج آ . د . ن (ADN) وذاكرة (A. R. N) .

وسوف نستعرض امثلة أخرى حول التفسيرات السيرنية للظواهرات البيولوجية أو السيكلوجية . ونذكر مشروعاً - وان لم تكن له تطبيقات منظورة في الوقت الحاضر - من شأنه توضيح مسائل تدخل بعلم الوراثة : انها آلات ذات انتاج اوتوماتيكي اقترح خططها فون نيومان وشانون .

وضعت الآلة المنتجة اوتوماتيكياً على أرض تراكتت فوقها كثرة من القطع المنفصلة المختلفة ، فاستكشفت جوارها ، ودرست واحداً واحداً العناصر المختلطة ، وميزت تلك التي تلائمها فجمعتها في آلة أخرى منتجة ذاتياً ، شبيهة « بالأم » ومزودة بمحركها ، وباحتياطي من الطاقة .

وبعد ان بين ج . فون نيومان J. Von Neumann ، في سنة 1949 ، إمكان وجود حل ، اقترح سنة 1952 نموذجين مفصلين . في حين يقترب الأول من اساليب انتاج البلور والتأكد الجينات [عناصر الوراثة] ، يذكر النموذج الثاني بالتناسل الحيواني . فهو مؤلف من « صوما (جسم) » - تحتوي بالذات على اعضاء ادراك للبيئة ، وعلى اعضاء تعمل في البيئة وعلى جهاز مركزي - ومن

«جرمن (خلية وراثية)» - يتضمن اعضاء انطلاق، وأعضاء توقف . وهناك مشروع آخر وضعه شانون Shannon . ان التشابه مع الحياة هو ولا شك بدائي . ولكن مجرد إمكانية صنع نموذج بسيط - وفصلاً عن ذلك ذي بساطة نسبية خالصة لان فون نيومان قرّر ان هذا النموذج يحتوي على ما لا يقل عن عشرة الاف عنصر - اعتبرت أمراً متبكراً جداً ، منذ حوالي أربعين سنة .

III - نظرية القابلية للتكيف وتقنياتها

ان ولع الناس ، الساذج غالباً ، بالسيريرية يعود في كثير منه إلى انها قد مكنت من صنع أجهزة تقلد قدرات الكائنات على التكيف . ويمكننا حتى - ودون ان ندخل في خطها نظرية الاعلام والآلات الحاسبة الالكترونية - تعريفها بانها علم التكيف ، وتحقيقاته في « الطبيعة » ، ونظريته التجريدية وكذلك تقنية اختراع الآلات أو التفاعليات التكيفية .

مشكلة المناشئ - ان السيريرية - بالمعنى الضيق - لها سابقون ولها تاريخ قديم . وفيها سبقت الاختراعات التقنية التكون العلمي . فحوالي 1206 وصف [ابن] الجزري « ساعة الضوء » - وهي منظم للشعلة ، بكل شيء أو بلا شيء - وربما كانت هذه الساعة أول آلة معروفة تعمل ذاتياً . وداشاً في القرون الوسطى تجدر الإشارة إلى « برمبل القمح » (baillie - ble) . ان أول آلة ذات تحرك ذاتي تصورها مهندس وكانت مفيدة لآلة صناعية هي المنظم ذو الأكر لجايكس واط Watt (1790) ، هذا المنظم استطاع ان يثبت [دوران] الآلة البخارية [عند وتيرة ثابتة] عندما كانت تنزع إلى الابتعاد عنها . وإذا يتعلق الامر بجهاز « تغذية استرجاعية » (feedback) كان ماكسويل قد حلل أو أليتها ووضع مبدأها (1868) في دراسة شكلت أول تحليل نظري للتكيفية . ولكن بخلاف فترة ما بين الحربين العالميتين أخذت تتوضح فكرة الارتجاع (الفيدباك) - الذي قدّمت هذه الدراسة تصوره - واكتسبت الاندفاع اللازم ويبدو ان معظم الفضل في ذلك يعود إلى هـ . س . بلاك (1931) وإلى هـ . نيكويست (1932) . ثم تلاهما آ . روزنبلوث ون . فينر N. Wiener وج . بيجيلو (1943) ثم هـ . و . بود . H. W. Bode (1945) . ان هذه الاعمال التقريبية يوضح بعضها بعضاً وتتوسع وتفتتح على امتدادات في كتاب ن . فينر : « السيريرية » (1948) (Cybernetics....) وفيه أعلنت ولادة السيريرية ومناهجها وطموحاتها .

اهمية مفهوم الفيدباك - تركز السيريرية على مفهوم « الفيدباك » المقرون بغرض ما (ماكينة ، ظاهرة مادية أو اجتماعية أو كائن حي) مؤثر في محيطه بهدف الوصول إلى هدف معين . هذا الوسط لا يقوم فقط على الاطار الخارجي بل يمكن اعتباره داخل الشيء وفي العلاقات بين مختلف الاجزاء التي تتضافر على تشغيله . ويتألف « الفيدباك » من جهاز مكلف بتأمين خمس مهمات :

- 1 - استكشاف الوسط لالتقاط المعلومات حول نتائج العمل المقرر ؛
- 2 - ادخال المعلومات هذه في الغرض المستهدف ؛
- 3 - قياس الانحرافات بين الاغراض المقصودة والنتائج المحققة ، في أوقات متنوعة .

4- العثور بواسطة الحساب (الاريتميكي أو المقارن أو المنطقي) على الوسائل لتصحيح الاعمال التالية بقصد الحد من الانحرافات المحلوطة ، بشكل كاف ؛

5- نقل هذه الدلالات إلى أجهزة الغرض ، المكلفة بدفعه لبلوغ النتيجة المرسومة .

وإذا يتكوّن هذا الجهاز من معدات لاستكشاف المحيط ثم من تركيب يتضمن بدوره دخول المعلومات ، وأسلوب دمج هذه المعلومات ثم خروج توجيهات للعمل .

ان أسلوب دمج المعلومات قد يكون بسيطاً جداً (منظم واط ، ترموستات منزلي) أو معقداً جداً (أنظمة عصبية ، آلات حاسبة الكترونية) . وعندما نلاحظ وجود الأولية دون القدرة على تفسير عملها بوضوح نعطيها اسم « العلبة السوداء » . وأخيراً ، وكما يحدث هذا في اغلب الاحيان ، في الحالات المعقدة ، مثلاً بالنسبة إلى آلات تتميز فيها الخيوط الكهربائية التي تمتد التيار إلى المحركات عن الخيوط التي تحمل التعليمات (ان هذه الخيوط الأخيرة تحمل طاقة أصغر بكثير من الخيوط الأولى) ، عندها يكون من المفيد استبدال كلمة « فيدباك » - انكلسوكسونية المنشأ ، ولكنها أصبحت عالمية الاستعمال - بعارة « حلقة العمل الاسترجاعي » . وهذه التفاعلية يجب أن لا تلتبس مع ردة الفعل العادية التي ، عدا عن أنها تنتقل عموماً على نفس الخط الذي ينقل العمل ، لا تؤدي إلى تكيف غائي ، ولا إلى التوازن ، بالضرورة .

ان « الفيدباك » المخصص لتوجيه الأولية ما نحو هدف ما قد يكون سيء الضبط عند الانطلاقة ، أو انه قد يشذ اثناء سيره . وعندها يوشك ان يصحح بشكل غير كاف العمل الذي يقوم هو بتوجيهه ، أو بالعكس قد يحمله على تجاوز الهدف المحدد له ، أو أيضاً قد يولد تارجحات تجره تناوباً ، ودون ان تتلاشى ، إلى تعدي الهدف تجاوزاً أو قصوراً . وتلاحظ هذه الظاهرة في الآلات (نيكويست ، 1932) . وتنبأ فينر بأن هذه الظاهرة تبرز في الكائنات الحية ، واستطاع روزنبلوث Rosenbluth أن يكتشفها فعلاً في بعض الأمراض العصبية . ويمكن دمج عدة فيدباكات فيما بينها ثم رصد أو ابتكار فيدباكات من الفيدباكات التي تتيح تحسين نوعيات التكيف في نظام ما .

ويجدر تمييز الأولية الصلبة أو الكلاسيكية عن الأولية اللينة أو السيبرنيكية . وقد سبقت الأولى الثانية في هذه الحركة التي تحاول أكثر فأكثر أن تستبدل الانسان بالآلة ، وفي ايماناً أيضاً ، ما تزال تتقدم إلى حد بعيد بالفعالية وبالأهمية . فضلاً عن ذلك ان ما يميز الأولى عن الثانية ، ليس هو التخلي أو اللجوء إلى الآلات لمعالجة الاعلام ، بل غياب أو استخدام الفيدباكات ، وبالتالي عدم القدرة أو القدرة على التكيف مع الاحداث غير المراقبة .

والفيدباك ، مع احتلاله مركزاً ما يزال متواضعاً ، بالمقارنة مع مركز الأولية الصلبة ، فانه أخذ في التسلل إلى قطاعات يكثر عددها وأحياناً غير متوقعة (انه ، ولا شك ، وعي هذه النقلة التكنولوجية التي تميزت بها الثورة الصناعية الثانية ، هو الذي أدى إلى ابتداء - يجادل فيه كثيراً - كلمة automation (نأل) . ان هذه الكلمة ، التي ابتدعت في الولايات المتحدة سنة 1947 ، تحاول ان تحتل مكانها ، إلى جانب كلمة automatization (أتمتة) ، للدلالة على السيطرة

الكاملة ، وتهدف إلى تزويد الآلات بهذه التكييفية ، التي ظلت لمدة طويلة من مميزات الانسان وخدامه من الحيوانات (. ونكتفي بمثلين للتدليل على هذه التنوعية : الآلات الالكترونية التي تسمح بالتنبؤ بتراكم المنتجات المشعة الناشطة المضرة في بعض المفاعلات النووية ثم الآلات الكبرى الناقلة أو التحويلية في صناعة السيارات .

« الحيوانات الالكترونية » - ولكن بالنسبة إلى الجماهير ، ان السيبرنية ليست هذه الثورة الصناعية ، بمقدار ما هي حظيرة « حيوانات الكترونية » يثير سلوكها الرهبة بحق . فعدا عن وجهة النظر الناقصة هنا ، يخشى ان تضرب ، بغير حق ، بإنجازاتها التي تعرض علينا موديلات بديعة ومنيرة حول سلوكات الكائنات الحية . منذ 1938 ، صممت . روس آلة قادرة ، عن طريق التجربة والخطأ (أي بواسطة الفيدباك) على الخروج من المتاهة . ولكن آله كانت تتنقل على سكة حديدية . أنها « السلحفاة الالكترونية » للنيروفيزيولوجي الانكليزي ، غري والتر Grey Walter ، هي التي أشاعت ، في سنة 1950 ، هذا التقليد الالكتروني ميكانيكي في السير نحو الهدف من قبل كائن حي .

هاتان الآتان الاستكشافيتان (Machina Speculatrix) مزودتان بقدرات ملحوظة نوعاً ما تمكنهما من تشكيل موديلات من أواليات تكييفية مفيدة في السيكوفيزيولوجيا . فهي تستكشف محيطها ، وتظهر قدرة على الانتحاء الإيجابي والسلبي ، وعلى الاختيار بين سلوك فعال وسلوك غير فعال ، وعلى البحث عن الاضروب وعلى « التعرف على الذات » في مرآة أو التعرف على فرد مماثل . وهي تمتلك نوعاً من الاستقرار الداخلي ، وتحقق كل هذه الصفات بتوفير كبير وببساطة مذهشة في الوسائل .

وأدخل غري والتر تعقيداً على موديلاته الاساسية وحسن في انجازاتها ؛ وعلى هذا فالآلة الحديثة تمتلك انعكاسات مشروطة . وهناك موديل آخر وضعه الهنغاري آ . الجيان Algyan بعد جمع بين إحساس وآخر ، ارتقى إلى مرتبة عليا ، وضُم هذا الاحساس الأول إلى تعميم الثاني . وصنعت آلات عدة مماثلة فلما تعاب إلا بانها اطلقت عليها اسماء حيوانات اسطورية ، ولكنها تستطيع المساعدة في توضيح مسائل في السيكلوجية الحيوانية .

وعاد ر . آ . والاس Wallace إلى فكرة روس ، فصمّم في سنة 1952 مركبة مركزة على سكة حديدية ، قادرة على الخروج من متاهة ، عن طريق التجارب والاختفاء ، وعلى « تذكر » الحل . ونجحت فآرة شانون (1952) في نفس الانجاز انما وهي تتحرك بحرية . ويمكن ان نتصور بعض تطبيقاتها ، خاصة في المراكز التلفونية .

دور الارتجاعات (الفيدباك) في البيولوجيا . الهوميوستازيا (تجانس الاتزان) - خارج نطاق الاختراعات والتقنيات قلما نجد ارتجاعات إلا في الظواهر المتعلقة بالحياة أو بالفكر حيث تظهر كثيراً ويصوّر طبيعياً وعلى المستويات الأكثر تنوعاً . ان كل هذه الظواهر تتميز بتزاوج بين الوسط المحيط (حي أو غير حي) من جهة وإمّا بين فرد (حيوان أو نبات أو « وحيد الخلية ») وإمّا بين قسم من جهازه وإما مع تشكيلة من عدة افراد ، من جهة أخرى .

وبين ر . غولداكر Goldacre ان حركات « الأميب » تنظمها ارتجاعات بين الخلايا ، وان انقسامها يحصل بفضل ضمة من الاسترجاعات تربط بين النواة الخلوية وبين حشوتها « سيتوبلاسما » (1950) . انها معلومات تتجول بين « الأسيد - ديزوكسي - ريبو - نوكليك ADN » الموجود في النواة و « الأسيد - ريبو - نوكليك ARN » الموجود في السيتوبلاسما وهي تنظم تركيب البروتينات في كل خلية حية . والباحهون المعجبون والمنظرون هم على الخط نحو ارتجاعات خلوية تغني السيتولوجيا [علم الخلايا] بموديلات ديناميكية .

ومتعدّدات الخلايا هي محل للارتجاعات المعقدة التي تستخدم العلاقات بين الخلايا ، والأنسجة ، والأعضاء والأفراد : تنظيم الضغط الشرياني ، ومحتوى الدم من الغلوكوز أو الأسيدكربونيك ، ودرجة الحرارة ، والتحكم بالعضلات غير الارادية عند الولادة ، الخ .

ونجد ارتجاعات (د . وك ستانلي جونز D. et K. Stanley Jones) في سباحة قنديل البحر ، وحركات شفّار البحر ، وتطريق [زمن بيض] المول أو بلع البحر وتارجحات الدود ، والسيطرة على الطيران عند الجراد ، وديناميكية البلات [بنت وردان] ، وكذلك أيضاً عند الفقريات امثال اللمبروا [سمك يشبه الحنكليس يعيش في المياه الحلوة والمالحة] ، الخ . ويمكن أيضاً تفسير امراض متنوعة ، وبعض المعالجات بواسطة الارتجاع : الصرع (ابلبسي) ، الشلل (بوليوميليت) الحاد المزمن ، والصدمات الكهربائية ، والصدمات الكيميائية والجراحة السيكولوجية ، الخ .

في الوظائف العصبية وفي الوظائف النفسانية (السيكوفيزيولوجيا) يُساعد على فهم أليات الجهاز العصبي وعلى فهم الكيفية التي بها تمكّن احساسنا حركاتنا وافعالنا من التكيف مع اهدافنا . وقد استفاد « علم كهرباء الدماغ التسجيلي » من هذا التنوير ، وكذلك نظرية الانعكاسات الشرطية ، ونظرية التعلم وألعدد من فصول علم النفس (ان نظرية الانعكاسات الشرطية التي قال بها بافلوف قد التقت واتصلت بعلم الكهرباء التسجيلي للدماغ في الوقت الذي استعمل فيه بولياكوف وليفانوف أراب سوية فوجدا في مسجلاتهما الكهردماغية ، مفاعيل شرطية الانعكاس) .

وأخيراً أن مفهوم الهوميوستازيا (الاتزان البدني) كما كان يرى قبل الثورة الميبرنية ، قد تجدد بفعل التثبت من دور الارتجاع . وإلى و . ب كانون (1926) يعود الفضل ، في أن معاً ، في ايجاد هذا المفهوم حول التوازن المحفوظ بفعل التكيف والكلمة التي نجحت . وعشر آ . ف . هل على نفس الفكرة سنة 1930 وعمّقها كانون سنة 1932 . ولكنهما لم يريا في الهوميوستازيا إلا حدثاً رئيسياً ومدهشاً ، دون أن يبينأ ألية هذا الاستقرار الفوقي المرتكز على انظمة ارتجاعية متدرجة .

ومن بين الاعمال التي اتاحت توضيح هذه الاليات ، في النظام العصبي الحساس والمحرك ، نذكر تجارب مارينس Marines حول عضلات الكرة البصرية عند الهرّ وتجارب سييري

Sperry حول العضلات القابضة والباسطة عند الفرد .

ومنذ نشر « تصميم الدماغ » (1931) الذي بُصِّفَ ضمن كلاسيكيات السيبرنية ، لم ينفك الطبيب النفسي الانكليزي و . روس آشي Ross Ashby يتفرغ - سواء بتطبيقات عملية مبدعة أو بأعمال نظرية - لهذه المسألة حول الاستقرار الفوقي . وكان مقياسه « هوميوستات » المتفوق أو « دامس » D. A. M. S الذي يتضمن مئة عنصر ، والذي يعمل إلكترونياً ، فقد أمكن أن يوصف من قبل ن . فينر « بالآلة الداروينية » . ومع ذلك فقد كنا بعيدين أيضاً كل البعد عن ما يقارب عشرة مليارات من عصبيات الدماغ البشري .

واجتماعات الكائنات الحية تدخل من عدة نواحٍ في علم السيبرنية . فمن جهة يقوم بين الاجناس الحية ووسطها نوع من التوازن قد يدوم طويلاً بفضل ضمايم الفعل الارتدادي . ان دورات الكاربون والأزوت والعناصر المختلفة التي تمر بالتناوب ، عبر الكائنات الحية وبيئتها المعدنية ، وحتى بعض مظاهر تطور الاجناس ، تدخل في هذا الفصل من البيوسيرنية العامة .

ومن جهة اخرى تلجأ المجتمعات البشرية والحيوانية - وبدون وعي في غالب الاحيان - إلى ارتجاعات اما من أجل استقرارها مرة أو من أجل تقديمها نحو بعض الاهداف مرة أخرى . ونجد مثل هذه الارتجاعات في كل البنات وكل الظاهرات الاجتماعية ، وكذلك في العديد من الأوليات الاقتصادية ، وخاصة تلك التي تلامس التفاعلات بين الانتاج والاستهلاك والأسعار (توستن Tustin وهـ . غرينوسكي Greniewski) .

IV- نظرية واتمة الذكاء الحاد

يمكن اعتبار التكييفية - التي هي من سمات الحياة والتي ترتبط دراستها بالسيبرنية بالذات ، كوسيط بين روح الدقة ، التي تتمتع بها الآلات الاستنتاجية ، وبين روح الذكاء التي كان تحليلها وتركيبها واتمتتها الجزئية موضوع مشاريع طموحة ، ومقاربات متنوعة وانجازات متفاوت جودتها .

استكشاف البنات - انه التعاون بين الاختصاصيين في التلفون والاتصالات اللاسلكية ، والاختصاصيين في السمعيات والفيزيولوجيين في النطق وفي السمع هو الذي اعطى اشارة الانطلاق بواسطة طرق واجهزة قادرة على تحليل وتركيب الصوت البشري .

ونجد اللجوء إلى نظرية الاطناب أو الاسهاب في القودودر Vocoder وفي القودودر Voder ، وهما اللتان اخترعتا سنة 1936 و 1939 من قبل هـ . دادلي H. Dudley ، في الارسال ، تمر الرسالة المقروءة عبر سلسلة من المصافي المصفوفة بالتوازي . فإذا جردت من الزوائد ، تنقل التغيرات الاساسية إلى أصوات ، بذات الوقت الذي يجلب فيه خطاب موجز صيغة هذه الزوائد . ومجمل الاشارات المنقولة يمكن أن يكثف بنسبة عشرة إلى واحد . وفي الاستقبال يعيد القودودر Voder خلط هذه الرسائل ويعيد تكوين الصوت بذاتيته .

ان الاودري Audrey هي جهاز قادر على معرفة الصوت البشري وتمييزه من صوت آخر .

في سنة 1940 تصدى كوب وغرين لتصوير (مشاهدة) الكلام عند تسجيله . ولكن التعرف على الاشكال المرئية بدا اكثر صعوبة عند التحقيق من التعرف على الاشكال الصوتية . ان مسألة تمييز سمات نبط محدد يمكن ان تعتبر محلولة من الناحية العملية . وليس الامر كذلك بالنسبة إلى « القراءة غير المشروطة » (ر . د . ي . بوسيل R. de Posell) ، أي التعرف على النصوص المكتوبة باليد أو بالآلة الكاتبة ، أو المطبوعة بحروف غير معيارية . وعلى كل بدلت المشكلة تحت الدرس من كل جانب - خاصة في الولايات المتحدة ، وفي بريطانيا ، وفي اليابان والاتحاد السوفياتي . وحلها يتيح اعطاء الآلة نصوياً لتحليلها بدون الحاجة إلى طبعها بالآلة الكاتبة مسبقاً انطلاقاً من مستندات مطبوعة أو مكتوبة باليد .

ان المسألة العامة المتعلقة بالتعرف على الاشكال والهيكلية من قبل آلات ، قد دخلت بالتالي في مرحلتها التجريبية . في سنة 1947 بين الاميركيان و . بيتس W. Pitts و . ماك كولوش ان امكانية الآلة في التعرف على الهيكلية ، عن طريق وصفها بعبارات اعلامية انتقائية ، ترتبط بعدم تغير سلوك أو آلية ما تجاه مجموعة من التحولات . ان « الادراك » الذي قال به د . روزنبلات (1960) يهدف بأن واحد ، إلى جهاز للتعرف على البنيات الحساسة ، سواء كانت مرئية أم صوتية أو غيرها ، كما إلى نموذج من قسم من الدماغ .

الاسنية الواسعة النطاق - الترجمة والتوثيق الاوتوماتيكي - ان اللغة والالسن هي المجالات المختارة من أجل تحليل وتركيب ، بل واتمه - ناجحة نوعاً ما - روحية الذكاء . ان الاسنية الموسعة ، سارت مساراً مستقلاً قبل ان تصل إلى السيرنية . ونحن لن نقف إلا عند المظاهر الاحصائية التي ترتبط عموماً بنظرية الاعلام الانتقائي وباستعمال آلات معالجة الاعلام .

لقد بين ج . ب . استوب J. B. Estoup (1916) أولاً القانون الاسني ذا الجهد الاقل ثم درسه مطولاً ج . ك . زيف (1949) (G. Zipf) ، ثم انتقده وحسّنه باحثون متعددون وخاصة ب . مندلبروت (1955) الذي اعطى مفهوم « الحرارة » الاعلامية .

وعملاً بهذا القانون تتبع وتائر كلمات الالسن الطبيعية صيغةً قطعية زائدة (هيربولية) أو ، بقول آخر ، ان حقبتها تتبع قانوناً خطياً . ان تواتر كلمة ما هو مستقل إذاً عن معناها الدلالي وعن وظيفتها النحوية . وهو لا يتعلق إلا بمرتبها في لائحة الكلمات التي هي مستخرجة منها ، باعتبار ان هذه الكلمات قد رتبت وفقاً لنظام التواتر . من ذلك انه في لغة حسنة الصنع - وهذه هي حال كل اللغات الطبيعية - ينتقل الاعلام - بفضل ائتلاف الموسمل والمتلقي ضد « الطبيعة » - بالامن الأدنى ، وينسجم تطور لغو ما ، اجمالاً ، مع قانون الفعالية الاقصى في توزيع الكلمات . وقرّر ف . بيليفيتش Belevitch ، بالنسبة إلى حروف الأبجدية ، قانوناً شبيهاً بقانون زيف المصحح من قبل ماندلبروت .

وكان على الاحصاء ان يتدخل بشكل آخر ، في الاسنية الواسعة ، بفضل الرياضي الروسي آ . ماركوف الذي حلل ، في سنة 1913 ، ليس فقط تواترات الكلمات ، بل أيضاً تواترات

تسلسل الكلمات في قصيدة شهيرة لبوشكين Pouchkine . وفي سنة 1948 أجرى شانون تحليلاً ماركوفياً للغة الانكليزية المكتوبة لا على مستوى الكلمات بل الاحرف .

ان هذه البحوث قد اتاحت تقدم طرق حل رموز البرقيات التي لا نعرف قانونها ثم تقديم نظرية علمية للكلمات المتقاطعة ، وظهرت هذه البحوث مفيدة في اكتشاف النصوص المشبوهة أو المشتبه بانها مزورة (مقارنة نصوص العهد الجديد وبدايله : ج . و . اليسون 1953 Ellison) ، أو في اقتراح الاستكتمالات المحتملة ضمن نصوص تلفت بعض مقاطعها القصيرة أو باتت غير مفرودة (مخطوطات البحر الميت ، الخ) .

وأخيراً اتاحت الطرق الماركوفية تركيب نصوص مكتوبة ، قصيرة ومفهومة ، وكذلك أيضاً توليفات موسيقية ناجحة بمقدار ما تهدف إلى صنع « متوسطات » انطلاقاً من نماذج بسيطة . وهناك مشاريع أخرى ، أكثر طموحاً ، تتناول اعمالاً موسيقية أو أدبية أكثر اصالة وتميزاً .

وإذا كانت الترجمة الأوتوماتيكية محتاجة أشد الاحتياج إلى معرفة معمقة بالالسنية وبالالسنية المضخمة الواسعة ، فانها بالمقابل خدمت في تبين مقدار عناء هذين المجالين في اداء هذه المهمة الجديدة ، وكان لها الفضل في دفعهما إلى تفهم ادق وأوضح لأغراضهما .

ويبدو ان العالم السوفييتي ب . ب . س . تروجانسكي P. P. S. Trojanskij كان له الفضل الأول في تجاوز مرحلة الافكار العارية عن الاسس التكنولوجية .

ان مشروعه حول الآلة المترجمة ، المرتكزة على مفاهيم ثورية وصحيحة ، والمسجل منذ سنة 1933 ، قد رفض سنة 1939 وسنة 1944 . واعتمدت نفس المبادئ ، بعد ذلك بعدة سنوات من قبل علماء وتقنيين كانوا يجهلون اعمال هذا السباق .

وعلى اثر المناقشات بين ويفر W. Weaver وأ . د . بوث حول فك الرموز وحول استعمال آلات حاسبة الكترونية ، وضع بوث وهـ . في . برين سنة 1947 تقنياً يتيح تضمين نفس الآلة قاموساً مزدوجاً . في حين عالج هـ . ريشنس H. Richens (1948) ويفر (1949) مشكلة الترجمة على الصعيد النحوي ، افتتح العديد من الباحثين الاميركيين (أ . ريفلز ، اصوالد ، فلتشر وبول ، ي . بارهيل) عصر البحوث المنهجية على صعيد أكبر .

في كانون الثاني سنة 1954 ، وفي نيويورك ، ترجم حاسب من نوع I. BM. 791 - بواسطة معجمية متواضعة من 250 كلمة - تحت اشراف الدكتور دوسترت ، إلى الانكليزية بعض النصوص الروسية القصيرة ، ومهما كانت السمة البدائية لهذا الانجاز ، فإنه قد أدخل الترجمة الأوتوماتيكية إلى حيز الواقع .

وعقد أول مؤتمر دولي حول الترجمة الأوتوماتيكية منذ 1952 ، وفي سنة 1954 ، صدرت أول مجلة مخصصة لهذا المجال العلمي الجديد باسم ميكانيكال ترانسلايشن Mechanical translation . وفي سنة 1955 تصدى الاتحاد السوفيات - باشراف رازوفنسكي وكوروليف ونسمجانوف وزينكفي - للمسألة ، وفي سنة 1956 ، بدأت الآلة B. E. S. M أولى ترجماتها ، من

الانكليزية إلى الروسية . وفي بريطانيا ترجم الدكتور بوث من الفرنسية إلى الانكليزية (1955) . ثم مع Locke اقترح انشاء قاموس مشترك يستخدم للانتقال من مطلق لغة إلى مطلق لغة أخرى . وبعد ذلك اندفعت البلدان الكبرى العصرية - ألمانيا ، الصين ، فرنسا ، إيطاليا ، السويد واليابان ، الخ . - في السباق . واخذت التقنيات تنبثق . وتتضمن المترجمة الاوتوماتيكية في مختبر الحساب في هارفارد Harvard (ف . آ . غيليانو وأ . غ . اوتنجر 1958) ، شريطاً مغناطيسياً ، قاموساً روسياً - انكليزياً يتضمن 22000 جلد من الكلمات الروسية . وهناك مترجمة أخرى ، صممها ج . و . كينغ (G. W. King (M. 1962 I. B.)) تترجم ، وبشكل ممتاز ، 60000 كلمة إلى الانكليزية كل يوم .

وإذا كانت مرحلة الترجمة الدقيقة ما تزال فوق المتناول - إذ هي تتعلق بشكل خاص بإمكانية مراكمة المعلومات التفصيلية - إلا ان مستوى الترجمة الفج قد زال اليوم . وسأله الاختيار بين مختلف معاني الكلمة الواحدة أيجد تنحل بصورة تدريجية ، إلى الاحسن ، بفضل ما يسمى « بالحقول السيمنتية » [علم دلالة الكلمات] لهذه المعاني ، وأدخل القواعد النحوية المتزايدة الدقة يتبع تقدم معجبة تعمل ضمن الاتجاه المبني من قبل الترجمة الحرفية .

وكذلك ، التوثيق الاوتوماتيكي اصبح أكثر ضرورة لامكانية السيطرة على تدفق النصوص العلمية التقنية والاقتصادية التي لم يكن التوصل إلى ترجمتها وإلى تصنيفها ولا إلى العثور عليها مجدداً حتى بواسطة التصنيف الكلاسيكي المدروس .

ومنذ 1936 ، وضعت اساليب متنوعة من اجل استخدام آلات البطاقات المثقبة في مجال التوثيق ، واقتراح حلول لمشكلة التصنيف البشري في آلات ، مع الاستعانة الوثيقة نوعاً ما بالآلة من أجل العثور على مستند في السجل أو في الكاتالوغ .

وبعد الاستعانة بالتصنيف العشري العالمي ، اعتمدت هذه الطرق المتنوعة ، التي يدخل وصفها في تاريخ التقنيات ، تقنيات أكثر ملاءمة لاهدافها . ومنها تصنيفات منهجية (تسمى ذات تسلسل قوي) متمثلة برسيمات شجرية ، ولا تستعمل العلاقة التضمين ، وهكذا تم الانتقال إلى رسومات مثبكة مستندة على علاقات أخرى ، ومركزة على تسلسل ضعيف . والسباق في هذا المجال هو ب . اوتلت (P. Otlet (1895) الذي ادت افكاره ، التي اعاد اكتشافها رانغاناثان (1933) Ranganathan ، ثم ج . كوردونييه (1943) G. Cordonnier إلى « التصنيف ذي الالوجه » . وقدمت أنماط متنوعة أخرى من التصنيفات : بواسطة الكلمات المفاتيح (مورس) ، والجمل المفاتيح (هـ . سلي Selye) ثم طريقة العبارات الموحدة (M. Taube) ، ثم القانون السمانتيكي (بيرى Perry) ، الخ .

وكان من الممكن اتمتة التوثيق بصورة كاملة ، لو كان يكفي تقديم الوثائق مجتمعة ، وبحسب ترتيب ورودها ، إلى الآلة ، مع تحويلها عناية قراءتها ، ثم استبعاد ما لا يستحق الحفظ منها ، ثم تحليل الاخباريات ، وتصنيفها ثم العثور عليها سنداً للدلالة هذه الافكار . ولنا هنا إلا في البحوث الاولى ، ولكن السوفياتي غوتنمكر (1956) Gutenmaker والاميركيين ش . ب . لوهرن H.

P. Luhn و Yngve قد عالجا بحزم التحليل الاوتوماتيكي للنصوص . وعلى اثارهم ، جهد باحثون عديدون من مختلف البلدان في العودة الى التحليل اللغوي البنيوي للنصوص بعد سكه في قوالب رياضية مأخوذة عن نظرية المجموعات ، وعن الجبر التجريدي وعن الطوبولوجيا الجبرية وعن نظرية الرسوم البيانية (Graph) . ويوشر بالدراسة الموازية لمبادئ الترجمة الاوتوماتيكية والتوفيق الاوتوماتيكي من قبل مجموعة م . ماسترمان ومن قبل شومسكي (1957) وس . سكاتو وك . أ . هارپر ود . ج . هيس (1959) ، الخ .

نظرية الالعب الاستراتيجية - في مذكرة من سنة 1921 ، ارسى أ . بوريل الاسس الاولى لنظرية الالعب الاستراتيجية . وفيها عرض حالة خاصة لما كان يسمى بالقاعدة الاساسية (وبموجها يتساوى الاقصى مع الأدنى) ، وقد قدم البرهان على هذه القاعدة سنة 1928 ج . ف نيومان ، ثم حولها إلى نظرية أولية ج . فيل سنة 1938 . ونشر فون نيومان ، الذي استمر يفكر بهذه المسائل ، سنة 1944 بالتعاون مع الاقتصادي أ . مورجنشترن Morgenstern ، كتاباً شهيراً هو « نظرية الالعب والسلوك الاقتصادي » . وفي نفس الوقت الذي نشأ فيه هذا المجال الجديد ، أمّن له التقاؤه مع نظرية الاعلام ومع البحث العمليتي قواعد اقوى وتشابكات مثمرة . وتمت فيه رياضة مفهوم الخدعة لأول مرة . وفي سنة 1951 ، عقدت في الولايات المتحدة ندوة حول « نماذج الشخصية » .

ويجب ان نفهم من عبارة « العاب استراتيجية » ، ليس فقط العاب التحليل العقلي الخالص ، وهي الالعب المسماة « العاب الاعلام الكامل » مثل لعبات الداما والشطرنج ، بل أيضاً الالعب المتضمنة جزءاً من الحظ ، شرط ابقاء مكان للتعقلن . والتعقلن قد يتناول ، ليس فقط العناصر المادية في اللعبة ، بل أيضاً الافكار التي يكونها كل لاعب عن مرامي خصومه . وهذا العنصر الاخير ، الذي قد يتمظهر بشكل سلوك خدعي ، يشكل بالذات جوهر لعبة مثل « المزدوج أو المفرد » ، أو البوكر . ونجد هذا العنصر في الصراعات العسكرية والسياسية والتجارية أو الاجتماعية .

لقد تضمنت الانماط الاولى للالعب التي درسها فون نيومان عدداً محدداً من الاستراتيجيات المسماة « خالصة » . وعمم ج . فيل وا . والد هذه الاعمال وعالجا حالات الالعب التي لا نهاية لها وحتى اللانهائية المستمرة . ودرست نظرية الالعب المتبادلة (أي بين خصمين فقط يلعب كل منهما بدوره) من قبل برج (1952) . أما الالعب لاكثر من لاعبين ، والتي تحتل أولاً وجود تحالفات (اضطرارية واختيارية) ، والتي كانت غير معروفة بصورة جيدة يومئذ ، فقد درست منذ 1950 من قبل شابللي وشويك .

وكانت أتمتة الالعب الاستراتيجية موضوع العديد من المحاولات المتفاوتة النجاح . فقد تناولت بعض المحاولات لعبة « المفرد والمزدوج » ، وهي حالة قصوى ، تتداخل فيها الخدعة والحيلة ، أو اكتشافهما ، 100 % في تحليلات الخصمين . وبالمقابل نجد عدة آلات قادرة على اللعب بشكل لا يخطئ ، ألعاباً بسيطة نسبياً ، أو على حل مسائل بسيطة من الالعب المعقدة

مثل البريدج ، أو الداما أو الشطرنج . هذه الآلات ، ذات النمط الاستقرائي ، تستعمل طريقة تسمى طريقة الحدود الدنيا ، التي تقوم - في حالة معينة تلعب فيها الآلة - على ترصد كل الضربات المتاحة لها ، ثم مراقبة كل ضربات الخصم ، رداً على كل منها ، وهكذا دواليك ، إلى ان تبلغ هذه الآلات سلسلة من النتائج النهائية ؛ ثم بعد مقارنة الدروب المؤدية إليها ، تحدّد الضربات التي تتيح بالتأكد التوصل إلى النتيجة المبتغاة .

وتختلف تماماً المسألة التي تقوم على تلعب لعبة لم يمكن ، بصورة كاملة ، التغلب على تعقيدها . فقد توجب تليم ذاكرة الآلة عدداً من المبادئ التي اكتشفها الناس ، وثبتت احقيتها علمياً . وتكون النتيجة أقل ارضاءً كلما كانت اللعبة أكثر تعقيداً . وقد تم التوصل إلى نتائج ملفنة في لعبة الداما في حين اثار لعبة الشطرنج ، منذ 1950 ، العديد من محاولات الأئمة الجزئية ، وبدت نجاحاتها محدودة جداً .

التنبيؤ . القرار . البحث العملياتي . لعبات المشاريع - أدت مسائل القرار ، عندما تطرح نفسها عند المستوى الذي لا تكفي نظرية اللعبات الاستراتيجية لحلها - نظراً لنقص العديد من المعلومات الدقيقة أو عندما تكون المعلومات المتوفرة أو التي يمكن التوصل إليها ، بأعداد مرهقة - إلى خلق ما يسمى « بالبحث العملياتي » ، وهو مجال وجد مجالات عمله المفضلة في العمليات العسكرية ثم في الاقتصاد .

في سنة 1939 ، قامت مجموعة بريطانية بقيادة روو A. P. Rowe ، بمعاونة الجيش في مسألة اكتشاف الغارات الجوية . وبعد اعلان الحرب تابع الدكتور أ . س . ويليامز هذه الاعمال . في هذا الوقت بالذات دخل إلى اللعبة ، وبإدارة پ . م . س . بلاكت P. M. S. Blackett « فريق بحوث عملياتي » يتضمن حوالي عشرة من العلماء من مختلف المجالات وبعض العسكريين . ولعب البحث العملياتي دوراً في الانتصار الذي حققته بريطانيا في المعركة الجوية على لندن ، حين اتاح القرار العقلاني في تشكيل وفي توزيع المجموعات ، ونقاط تركيزها ، ولحظات دخولها في العمل . كما اتاح أيضاً حل مسألة الاشكال والاحجام التي يجب ان تكون عليها قوافل البضاعة المحروسة ، العابرة للاطلسي . مما قلل إلى ادنى حد الخسائر التي الحقها الغواصات .

وانتقل البحث العملياتي ، في أواخر 1942 ، من بريطانيا إلى الولايات المتحدة ، وإلى القوات الجوية أولاً ، ثم إلى البحرية ، بالتعاون مع جامعة برنستون ثم إلى المؤسسة التكنولوجية في ماساشوستس (M.I.T) . ونذكر من بين الامثلة ، تطبيق نظرية اللعبات الاستراتيجية - المدموجة بشكل دقيق بالبحث العملياتي - في معركة الارخبيل في جزر بسمارك في شباط سنة 1943 .

وعرف البحث العملياتي ، في أواخر الحرب ، نقلة حقة : فقد انتقل إلى الصناعة وإلى كل المجالات الأخرى من النشاط الاقتصادي ، والحكومي أيضاً ، ثم أخذ يحتل مكانة - متميزاً - إلى جانب التنظيم العلمي للعمل . والحقيقة اننا نجد باكورات هذا التحول منذ القرن التاسع عشر ،

وخاصة في المشاريع المتنوعة المخططة في القرن العشرين .

ومن جهة أخرى ، وبذات الوقت الذي قَدِّمَتْ فيه مفاهيم جديدة في الاعلام ، انتهت نظرية فيشر ووالد - كل بحسب طريقتها - إلى « نظرية القرار » التي يشكّل « بحثها العملياتي » ، في الكثير من الاوجه ، المظهر العملي التطبيقي .. فمنذ 1920 ، اوصلت البحوث مير ورنالد فيشر ، في مجال الزراعة ، الى تخيل « خطط التجارب » التي اتاحت ، بواسطة المربعات « اليونانية اللاتينية » (وهي مصفوفات يحتل كل مربع منها حرفان مستقلان) دراسة انظمة معقدة من المتغيرات المتعددة ، المتتالية ، والمؤثرة احداها في الاخرى .

وشكلت البرمجة الرياضية ، بدون شك ، القسم الرئيسي من البحث العملياتي ، كما شكلت البرمجة الخطية الفصل الاول منها . وتطلق هذه التسمية على تقنيات في الحساب يمكن فيها وضع مسائل محددة بشكل نظام من عدد كبير من « اللامعادلات » (Inéquations) الخطية ذات المتغيرات (n) (أو المجهولات) . تلك هي حالة مسائل النقل والتوزيع (ت . س . كويمانزوف . ل . هيتشوك 1941) والحقاق الموظفين باعمالهم (د . ف . فوتاواو . اوردن) والبحث عن التوازن بين الانتاج والتخزين ، الخ .

واشهر طرق حل مسائل البرمجة الخطية « طريقة سامبلكس » تربط دراسة اللامعادلات بالبحث عن ذروة فوق متعدد وجوه محدودب ، يمثل مجمل الحلول المحتملة . وهذه الطريقة يعود الفضل فيها إلى دانتزيغ (G. B. Dantzig 1951) الذي بين ايضاً ان نظرية الألعاب الاستراتيجية يمكن ان ترد عموماً إلى البرمجة الخطية . ولكن هناك طرقاً أخرى قد ابتكرت : ومنها نظرية « اللعبة الوهمية » (براون G. W. Brown) ونظرية الاسترخاء (هندرسون Henderson وكوبر Cooper وتشارنر Charnes ونظرية ج . و . براون وج . فون نيومان التي تستخدم انظمة من المعادلات التفاضلية ، الخ .

وادت دراسة قام بها أ . ك . ارلانغ (1908) ، بعد ذلك بثلاث قرن إلى « نظرية صفوف الانتظار » ذات التطبيقات المتعددة : هبوط الطائرات ، مواقف السيارات ، مهل الانتظار على الهاتف ، عطل الآلات ، الخ .

وكانت هذه النظرية موضوع العديد من الاعمال (د . ج . كندال ؛ الخ) التي انطلقت من معادلات ومن منحنيات بواسون Poisson ، واستخدمت في اغلب الاحيان ، تحت اسم « طرق مونت كارلو » تقنيات تقوم على تقليد مصادفة من ذات الطبيعة التي تعرض في المشكلة .

ان كثرة المتغيرات التي تميز غالبية المسائل المتعلقة بالبحث العملياتي ، تفسر كون هذا المجال يحتاج دائماً إلى الاحصاء ، وإلى حساب الاحتمالات ، وإلى الآلات الحاسبة الكبرى العصرية . ولكنه يجب ان يستند ايضاً على انظمة من البحوث فيها لا تتأني الصعوبة ، بالضرورة من كثرة المعطيات ، ولكنها أي الصعوبة ، ملازمة لبنية المشاكل . من هنا علاقته بنظريات الاعلام ، وبالألعاب الاستراتيجية وبالرسوم البيانية Graphes ، الخ . إن تضافر المجالات العلمية

المختلفة بهذا الشكل اتاح ، في اغلب الأحيان ، صياغة دقيقة عقلانية لالهامات كانت في الماضي من امتياز رجال الدولة وبعض اصحاب المشاريع .

وبذات الوقت الذي فرض نفسه في مجالات النشاطات الأكثر تنوعاً ، بفضل نموه السريع ، عمل البحث العملياتي [اي تحليل القضايا بالمنهج الحسابي] على خلق اتحادات وطنية (بريطانيا ، الخ) ودولية ، وعلى نشر عدة الاف من المقالات ، ومن الكتب .

نذكر أيضاً « ألعاب المشاريع » التي تتيح - عن طريق اعطاء اصحاب المشاريع ، ملفات وهمية ، وبعد تسجيل قراراتهم - حساب النتائج ، الحاصلة من جراء هذا القرارات ، بواسطة آلات ، مع الاخذ في الاعتبار المخاطر المحتملة عادة . لقد حُققَت أولى ألعاب المشاريع من قبل « الجمعية الاميركية لادارة الاعمال » ومن قبل شركة ماكنزي Mac Kinsey في سنة 1956 . ان مثل هذه التمارين لم تكن تستهدف الا غاية تربوية وثقافية ، ولكن يمكن الامله برؤيتها تستعمل بشكل فعال في تشغيل المشاريع .

الاستقراء [انتقال من الجزئي إلى الكلي] الاوتوماتيكي . تعلم الذكاء - تهدف اتمتة التفكير الثاقب إلى الاستيلاء على مجالات الاستقراء والتعلم .

وامتداداً لأعمال غري ولتر (1951) حول الانعكاسات المشروطة المصطنعة ، قدم د . آ . م . أولتي نظرية آلات الاستقراء التي اتخذت كنقطة انطلاق ، واحياناً كنموذج ، لعدة مشاريع وللبعض انجازات د . أولتي (1954-1955) وف . هـ . جورج وج . باسك وشافورد بير ، وكلهم بريطانيون ، الخ . ان آلة ت . كيلبرن ور . ل . غريمسدال وف . هـ . سمر (1957-1959) حسنت بعد عدد من التجارب والبرامج التي اعطيت لها وذلك باستبعاد الاجراءات الناقصة ، والاحتفاظ بالاجراءات الناجحة ، مع زيادة فعاليتها استناداً إلى حلول حصلت في مسائل أكثر بساطة . مثله ، إذا اعطيت الأرقام الأولى من سلسلة (ذات قانون تشكل اختيار سهلاً) فانها تعثر على الرقم التالي .

ان آلة لعب لعبة الداما التي وضعها سامويل Samuel هي آلة تعليم ، وهي لا تعود إطلاقاً إلى نفس الغلطة . وهناك اجهزة أخرى متنوعة ومشابهة قادرة على تذكر مطلق تكييف حاصل . وقد بنى أوتنجر OEtinger أيضاً « آلة تعلم نفسها » . وعلى محاذاة هذه البحوث نذكر نظرية المناهج التي يسميها د . ج . سوفان D. J. Sauvan المتعددة الثبات Multistatique والتي نموذجها S4 و S5 هما جهازان يُعَيِّدان تنظيم ذاتهما داخلياً عند تلقي الرسائل الخارجية . ولهما « سلوك نشاطي تعاقبي (Epigénétique) شبه مبرمج » يذكر بأواليات الغريزة ، وينمو النطفة .

هل بالإمكان التحسين ومن ثم تحقيق ما اتفق على تسميته ، بالفكر الخلاق ؟ على صعيد الافكار ، اقترح ماك كاي مشاريع آلات قادرة على تشكيل مفاهيم جديدة ، ثم ، بصورة خاصة فرضيات غير متبدلة . ومن جهة أخرى ، وفي سنة 1950 ، بين بوكنر أن الآلية المؤازرة Servo-Mécanisme تمثل دائماً ولا يمكن ان تمثل الا معادلة (أو نظاماً من المعادلات) لـ يفاف

Pfaff (يبين توريس كيفيدو عكس هذه القاعدة في مطلع القرن العشرين) . هذه الألغورثيمات ليست بذاتها الا جزءاً صغيراً من مذكر الرياضيات ، وينتج عن هذا كون الاليات الموازنة لا يمكنها الادعاء بتمثيل كل عمليات الفكر ولكن ربما كان من الممكن التقدم بالمسألة من خلال معدات اخرى .

وانه بدون شك ، بواسطة « مضخمات الذكاء » التي صممها أشبي (1956) بدت السييرية [علم التوجيه] الاكثر طموحاً ، ولكن أيضاً الاكثر جرأة .

فبحسب واضعي هذه المضخمات ، ان المسألة الاساسية في تركيب الذكاء لا تقوم على خلق افكار جديدة بل في معرفة حسن الاختيار بين عدد كبير من الافكار المطلقة . والآلات القادرة على مثل هذا الاختيار تستطيع إذاً - ان وجدت - ان تتجاوز لا القوى فقط بل وحتى القدرات العقلية لدى مصمميها . ويتقبل هذا الطرح ، لا نرى تماماً كيف يمكن اجراء اختيار ما بفعالية وبسرعة ، بين مجموعة من المعلومات تبدو مشابهة لمجموعة نصوص البارابول الشهير المسمى « القُرود الطابعة » .

هذه المشاريع الجريئة ولكن غير المؤكدة هي من نصيب مستقبل العلوم اكثر مما هي من تاريخها ونفضل ان ننهي هذا العرض بذكر انجازات اكثر تواضعاً بكثير ولكنها فعلية . انها انجازات آلات تبين قواعد الرياضيات . انها تمثل خليطاً من النماذج الاستنتاجية والاستقرائية ، ونظريات هذه الآلات قد طورها بشكل رئيسي كل من نيول Newell ، وشو Shaw وسيمون Simon ، وهاو وانغ (1958) وب . س . غيلمور (1959) وه . جلرنتر وهانسن مع لوفلاندا ، وارمروم . كرتون (1960) ومينسكي (1961) وج . بيترا (1962) .

ان آلة ه . جلرنتر (I. B. M. New York) تعثر على قواعد في الجيومترى الاقليدية وهي مؤلفة من حاسبة قادرة على التراكيب الكلامية المنطقية [Syntactique] (لمعالجة النظام الشكلي) ومن حاسبة دياغرامية [الدياگرام : رسم تخطيطي أو بياني] تتضمن الرسم البياني الضروري لتبيين القاعدة) ثم من حاسبة كشفية [تساعد على الكشف] تستخدم الكتلتين السابقتين وتبحث عن سلسلة البراهين الاستدلالية التي تتيح الانتقال من الفرضيات (أو المعطيات) إلى الخلاصة (أو النتيجة) . هذا وقد برمجت الآلة المسماة « المنظر المنطقي » « Theorist » من قبل آ . نيول وج . س . س . شورو . آ . سيمون بحيث تحصل على قواعد انطلاقاً من نظام البديهيات (axiomatique) الذي وضعه برتراند راسل Bertrand Russell .

الفصل العاشر

الحياة الرياضية في القرن العشرين

وسائط الاتصال - كما هو الحال في كل العلوم ، ان السمة التي برزت من خلالها الحياة الرياضية الحديثة ، بادية الأمر ، هي التزايد الضخم في عدد الباحثين وفي عدد النشرات . والممار الاستثنائي لهذا النمو ، الذي بدا محسوساً بخلال الثلث الأخير من القرن التاسع عشر ، استمر بالاجمال رغم الحربين العظميين والانقلابات الاجتماعية التي تولدت عنهما . في حين أنه بحوالي سنة 1880 ، لم يكن في العالم الا حوالي عشرين صحيفة مخصصة للرياضيات ، يوجد اليوم عدة مئات منها ، وقد أصبح من المستحيل ، الاطلاع على نيار الحركة الرياضية دون اللجوء إلى مكتبة تتضمن على الأقل الخمسين نشرة دورية الأكثر أهمية . ان تعدد المجالات والتسهيلات المتزايدة في النشر تساعد ، من جهة ، على انتشار الافكار الجديدة ، ولكن ، من جهة أخرى ، على حصر هذا الانتشار ، بسبب الاستحالة المادية لقراءة كل ما ينشر ، ثم لتمييز - بدون مرشد - المستجدات المفيدة عن المقالات المبتذلة نوعاً ما . ولتفادي هذه العقبة ، أوجدت ، في بادىء الأمر ، صحف مكرسة لتحليل (موجز نوعاً ما) النشرات الأخرى ، مثل : «Jahrbuch uber die Fortschritte der mathematik» التي تأسست سنة 1868 والتي اعقت بتأخير لعدة سنوات بعد حرب 1914 ، ثم حلت محلها سنة 1932 : Zentraiblatt fur mathematik ثم أضيفت إليها سنة 1940 «Mathematical Reviews» الأميركية ثم أخيراً «Referativny Zurnal» الروسية . ولكن رغم التزايد الضخم في عدد صفحاتها السنوية وفي فرقاء المحررين ، تجهد هذه المجلات حتى لا تفرق تحت الدفق المتزايد باستمرار في المقالات التي يتوجب عليها تحليلها .

وهناك وسائل أخرى لفصل القمع عن الزوآن وللحفاظ على تواصل فعال بين علماء الرياضيات في الوقت الحاضر لحسن الحظ . فإلى جانب تكاثر الدوريات تكاثرت الكتب الارشادية ، التي تجمع في أغلب الأحيان ضمن سلاسل الدراسات المتعلقة بموضوع واحد (مونوغرافيا) (تكون في بعض الأحيان متخصصة نوعاً ما) ، وأقدم هذه المجموعات هي « مجموعة بوريل Borel » الشهيرة في فرنسا (التي تأسست سنة 1898) ، ثم « منشورات كمبريدج الانكليزية » (Cambridge tracts) (حوالي 1910) ثم الـ « Grundlehern der mathematischen

«Wissenschaften» و «Ergebnisse der mathematik» التي بدأت في ألمانيا بعد 1920 بقليل ، وقد استعملت كنماذج لكثير من المجموعات الأخرى ، ليس فقط في نفس البلدان ، بل أيضاً ، وبشكل خاص ، في الاتحاد السوفياتي وفي الولايات المتحدة ، ثم أنه من النادر أن تنتظر نظرية جديدة أكثر من عشر سنوات لكي تصبح موضوع مداخلات تعليمية .

ومن أجل الحاجات الأكثر إلحاحاً في البحث ، انتشر العرف الألماني باقامة مؤتمرات تخصص لتحليل حالة مسألة أو لعرض المستجدات الأكثر بروزاً ، بشكل شامل ؛ وكانت المداخلات المعروضة تطبع ، فتطال جمهوراً أوسع وأعرض ، وكذلك حال المحاضرات المنخفضة الملقاة في العديد من الجامعات .

وأخيراً ، إلى جانب المؤتمرات الكبرى الدولية ، التي كانت تقام كل أربع سنوات (مع انقطاعين بسبب الحربين العالميتين) ، كثرت الاجتماعات المحصورة ، والجلسات ، واللجان ، ومجموعات العمل ، حيث تلتقي شلة منفتحة نوعاً ما من الاختصاصيين ، تناقش اكتشافاتها الأحداث ، وتبحث في المسائل المطروحة على ساط البحث .

كل هذا التطور الضخم لم يكن ممكناً ، من الناحية المادية ، الا بتدخل كثيف من الحكومات (وبدرجة أقل ، من قبل رعاة العلم من أصحاب الصناعة الخاصة) لتقديم المنح الدراسية ، وتمويل الجامعات ومختلف مراكز البحث حيث يجد الرياضيون الوقت من أجل الانصراف إلى أعمالهم ، دون الاضطرار إلى الخضوع لموجب تأمين خدمة شاقة في التعليم لتأمين معيشتهم . وانه بفضل مثل هذه الامدادات (اما المباشرة أو المقدمة للمكثبات الجامعية) أمكن نشر العديد من الصحف التي تكلمنا عنها أعلاه . وحتى الآن ، لم تظهر المخاطر الكامنة من جراء تدخل هؤلاء المبرعين بأموالهم ، في تنظيم أو توجيه البحث الرياضي نحو أهداف ربيع خاصة ، بشكل مضر جداً ، إلا في ظل الأنظمة الفاشستية في ألمانيا وإيطاليا ، وأغلب الرياضيين يحسون بأنهم ما زالوا أحراراً في أعمالهم يوجهونها كما يشاؤون .

بقضة المدارس الوطنية - ظلت المدارس الألمانية والفرنسية حتى حرب سنة 1914 ، المحكومة من قبل أعظم ممثلها المشهورين ، هيلبرت Hilbert وهـ . بوانكاريه H. Poincaré ، وهما نابغتان من ذوي الآفاق الواسعة والنادرة ، تمارس في الرياضيات ، تأثيراً طاعياً وغير منازع به . وإلى جانبها ، قامت في إيطاليا وفي انكلترا ، مراكز بحوث رياضية تضم العديد من المشاركين الناشطين . وقد تألفت إيطاليا بشكل خاص في مدارسها الجيومترية الجبرية (انريكو Enriques كاستلنوفو Castelnuovo وسيفيري Severi) والجيومترية التفاضلية (ليفي ليفي - ليفي Levi Civita ، وي . ي ليفي E. E. Levi) وفي التحليل التفاضلي حول فولتيرا Volterra ، دون أن يصيبها التخاذل (الذي أخذت تتحرر منه اليوم) الا ابتداء من سنة 1935 تقريباً ، في حين أنه بعد وفاة كابللي Cayley وسلفستر Sylvester ، اخذت المدرسة الانكليزية وقد غيرت اتجاهها ، تجمع ابتداء من سنة 1910 تقريباً حول هاردي Hardey ولittlewood لتدخل ولمدة ثلاثين سنة ، ضمن سلسلة خصبة من الاكتشافات حول التحليل الكلاسيكي وتطبيقاته على نظرية الاعداد ، قبل

ان يخلى المكان ، في الوقت الراهن ، لضمّة لامة من الجبرين والطوبولوجيين .

بعد 1918 أخذت فرنسا التي فصّدت شبيبتها العلمية حتى الرمح الأخير بالكارثة ، تنكمش على نفسها وظلت كذلك طيلة عشر سنوات ، وإذا استثنينا إيلي كارتان (Elie Cartan) الذي عمل ، منذ وفاة بوانكاريه في عزلة تامة) ، فإن المدرسة الرياضية الفرنسية قد قبعت ضمن الإطار الضيق ، إطار نظرية وظائف (دالات) المتغير الحقيقي أو المعقد ، الذي كان تطوره الضخم ، في حوالي سنة 1900 ، من صنعه (مع بيكار Picard وهادامارد Hadamard ، وبوريل Borel وبر Baire ، ولييخ Lebesgue ثم مونتيل Montel ودانجوي Denjoy وجوليا) . والمانيا التي عرفت كيف تحافظ على حياة علمائها ، حافظت على تراثها الشمولي سليماً ، فضلاً عن ذلك ، شاهدت تفتح مدرسة بارزة في الجبر وفي نظرية الأعداد (أ . نوفر E. Noether وسيجل Sigel ، وارتن Artin وكرويل Krull ور . براور R. Brauer وهاس Hass) وإلهم يضاف الهولندي ب . ل . فان درواردن (Waerden) ، وقد دشنت في الرياضيات المعاصرة الاتجاه البديهي الذي كان قد وجد نواته في أعمال هيلبرت Hilbert وديديكيند Dedekind ؛ وبين 1920 و 1933 أمّن هؤلاء الرياضيون للجامعات الألمانية ، حيث كان يتزاحم الطلاب من كل البلدان (وبخاصة الشباب الفرنسيون الذين جاؤوا يجددون علاقاتهم بالتراث المنسي عندهم) شهرة وإشعاعاً استثنائيين ، سوف يخلدوا مع الأسف ، ويعنف في الحقبة الهتلرية . وبعدها توجب انتظار الخمسينات حتى تعيد المدرسة الألمانية تكوينها متأثرة هذه المرة (بفعل تغير تام في الوضع) بالرياضيين الفرنسيين ذوي الميول « البورباكية » [نسبة إلى Bourbaki] .

وعلى كل ، كانت الظاهرة الأكثر بروزاً ، بعد 1918 هي ظهور مدارس وطنية ناشطة ، على المسرح الرياضي ، في بلاد قلّما كانت قد عرفت حتى ذلك الحين إلا بعض العلماء المنفردين الذين بلغوا شهرة عالمية . ومنذ ما قبل نهاية الحرب العالمية الأولى ، من الواجب ، في بادئ الأمر ، أن نذكر الاتحاد السوفياتي وبولونيا ، حيث ظهرت فجأة مجموعة من الرياضيين من الطراز الأول : (ألكسندروف Alexandrov ، وأوريسوهن Urysohn ، وكولوموغوروف Kolomogorov ، فينوغرادوف Vinogradov وبتروفسكي Petrovski ثم بونترياغين Pontriaguine وغلغاند Guelfand في الاتحاد السوفياتي ؛ وسيرنسكي Sierpinski وكوراتوسكي Kuratowski وبناخ Banach ثم شودر Shauder وإيلنبرغ Eilenberg وزيفموند Zygmund ، إلخ . . في بولونيا) ؛ ويفضل جهودهم توفرت بشكل خاص أسس الطوبولوجيا والتحليل الوظيفي الحديثة . وفي الاتحاد السوفياتي لم تتوقف الموجة المنطلقة على هذا الشكل ، واستمرت تعطي العدد الكبير من الرياضيين ، حيث كانت الأسماء ذات الشهرة العالمية أقل عدداً مما كان يؤمل ؛ أما بولونيا ، حيث قضى على خمسين بالمائة من الرياضيين من قبل النازيين ، فقد أخذت من جديد تسد الفراغات وتسير إلى الأمام .

وفي الولايات المتحدة ، كان تشكيل تراث رياضي أكثر بطناً ، وامتد عبر ثلاثة أجيال ، فقد بدأت في حدود سنة 1900 (وخاصة مع أ . ه . مور E. H. Moore وديكسن Dickson) واسفود

Osgood ثم بيركهوف G. D. Birkhoff وفيلين Veblen والكسندر Alexander وم . مورس M. Morse) ، تتلقى بعد الحرب الأولى ، وخاصة بعد 1933 ، عوناً غير منتظر بفعل الهجرة الجماعية للعلماء الأوروبيين المطرودين من قبل الأنظمة الكليانية . هؤلاء هم الذين ساعدوا بقوة على ازدهار المدرسة الاميركية الحالية الباهرة والمتنوعة ، بعد 1940 (والتي وضعت نفسها في المقام الأول في السنوات الأخيرة بفضل اكتشافاتها المثيرة في الطوبولوجيا الجبرية وفي الطوبولوجيا التفاضلية) .

في اليابان ، وبعد نهاية الحرب العالمية الثانية ، حدثت الظاهرة المتفجرة التي كانت قد ظهرت في روسيا سنة 1920 ؛ ولكن المدرسة اليابانية المتألفة ، كانت كثيرة على نظام جامعي جامد وفقير ، فحسرت لصالح بلدان أخرى (خاصة الولايات المتحدة) العديد من ألمع ممثليها ؛ وكان الأمر كذلك مع الأسف بالنسبة إلى الصين التي بدت ، قبل الاضطرابات الاجتماعية في الستينات ، مؤهلة لتطور مشابه في قوته .

هذا الازدهار في المواهب الجديدة لم يقتصر على البلدان الكبرى . فاسكندنافيا لم تنفك منذ سنة 1900 تقدم بانتظام احتياطها من الرياضيين العظماء . وبرزت أكثر أيضاً حالة هيناريا الصغيرة ، التي اخرجت رياضيين ذوي قيمة ، بعدد لا يتناسب إطلاقاً مع عدد السكان ، من بينهم بعض القادة في سير الفكر الرياضي المعاصر (خاصة ف . رايز F. Riesz وج . فون نيومان J. Von Neumann) ؛ وكثير من هؤلاء الرياضيين ، هم أيضاً ، قد انتشروا خارج بلدٍ لم يجدوا فيه عملاً يتلاءم مع نبوغهم .

وأخيراً ، من المتوقع أن يشهد النصف الثاني من القرن ترسخ التراث الرياضي في بلاد مثل الهند وأميركا الجنوبية ، حيث يبدو التقدم الفكري مرتبطاً بتحسين الأوضاع الاقتصادية .

التيارات الكبرى - أول نقطة يجب ذكرها هي الفاصل ، الأكثر بروزاً في القرن العشرين مما كان عليه في الحقبة السابقة ، بين الرياضيات البحتة والرياضيات التطبيقية . لقد أصبحت مسائل الرياضيات البحتة كثيرة العدد وكثيرة التنوع ، وأصبحت تقتضي الكثير من المعلومات المسبقة قبل تناولها ، كما أخذت في الوقت الحاضر تستوعب كامل نشاط الذين يدرسونها مهما كانوا « موسوعيين » ، ثم أن الرياضيين الذين يتصدون بأن واحد لمسائل « بحتة » وللتطبيقات هم قلة استثنائية ، وج . فون نيومان هو بدون شك الوحيد الذي توصل إلى شهرة عالمية . لا شك أن الفيزياء قد استمرت تطرح الكثير من المسائل الصعبة ، والمهمة بالنسبة إلى الرياضيين ؛ ولكن حتى في المجالات الخاصة ، كما هو الحال في المعادلات ذات المشتقات الجزئية ، لم تعد هذه المسائل هي الأكثر أهمية اليوم . فهنا ، كما في كل مكان آخر ، تراجعت هذه المسائل أمام القضايا التي ترتبط بقوة بالتطور الذاتي الداخلي للأفكار الرياضية ، وبالبحث عن « الهيكليات » الأساسية التي تتحكم بالظواهرات .

واليوم يوجد أيضاً ، خارج نطاق الرياضيين الخالص (الذين اخذوا يبتعدون قليلاً قليلاً عن الواقع) ، سلسلة من العلوم على هامش الرياضيات ، حيث يهتم الباحثون بترجمة الأفكار

والتأملات التجريدية التي يقدمها زملاؤهم إلى نتائج تطبق عملياً . هذه التطبيقات قد ازدهرت بشكل خاص ، منذ أُنشأت الآلات الالكترونية التطلع إلى إمكانية التوصل إلى الحسابات العددية التي يجعلها طولها فوق التناول ، وفيما مضى ، أدى التطبيق المتماهي دائماً للمناهج الاحصائية ، في مجالات عدة ، ومنذ 1910 تقريباً ، إلى جعلها « تخصصاً » ملتصقاً أيضاً بحساب الاحتمالات الذي اكتسب بالمقابل ، ومنذ 1930 تقريباً ، سمة نظرية وتجريدية أكثر بروزاً .

وأخيراً ، تجب الإشارة إلى التطور غير المتوقع ، والموازي لتطور الرياضيات بالذات ، للمنطق الرياضي ، الذي يبدو اليوم وكأنه جزء من الرياضيات التطبيقية . فهذا المنطق المنبثق عن المجادلات الكبرى التي حصلت في مطلع القرن حول أسس الرياضيات قد استعار ، بحسب الفكرة الأساسية عند هيلبرت ، من الرياضيات أدواتها البحتة كي يدرس بصورة أفضل آليتها ؛ ولم ينفك هذا المنطق يجتذب العديد من الباحثين ، وبفضل عباقرة من الدرجة الأولى من أمثال غودل ونوفيكوف ، استطاع أن يجيب (بالنفي في أغلب الأحيان) على الكثير من الأسئلة حول « إمكانية » حل مسائل رياضية وفقاً لطرق معينة ، مسائل كانت صعوبتها تتحدى التحليل .

وتمت ، في داخل الرياضيات بالذات ، مشاهدة الصراع الدائم بين الاتجاهات نحو التخصص ونحو التركيز . ونظراً للتزايد الضخم في عدد الباحثين ، وفي نتائج وطرق الهجوم ، بدأ وكأن الأول من هذين الاتجاهين هو السائر حتماً إلى الانتصار ، وذلك بفعل الاستحالة شبه الفيزيائية ، في السيطرة على حقل يمثل هذا الاتساع ؛ لقد كتب بالقضاء المحتوم على الرياضيات أن تنفتت إلى « غبار » من المجالات المستقلة ، يتجاهل بعضها البعض الآخر بشكل من الأشكال .

لقد استطاع الرياضيون الكبار حتى بداية هذا القرن أن يتغلبوا على هذا الميل المغري نحو التخصص ، وكانت أفكارهم تتفاعل فيهم باستمرار ، ويشكل مشرقتفاع من قسم من الرياضيات إلى قسم آخر . لا شك أنه كرده فعل ضد خطر التخصص المقتحم ، كان لحقبتنا أن تتميز برؤية ولادة الجهود المنهجية المبدولة من أجل التركيز ، رغبة في تجميع الرياضيات حول بعض المبادئ العامة التي تتيح السيطرة على ما فيها من مظاهر متنوعة .

والى المدرسة الألمانية ، وإلى هيلبرت (Hilbert) بشكل خاص ، يعود الفضل في الخطوات الأولى في هذا السبيل . ويعد التأكد من أن نظرية المجموعات ، التي وضعها كانتور Cantor ، مضافة إلى التحصيب التدريجي لمختلف فروع الرياضيات في القرن التاسع عشر ، تقدم لكل الرياضيات ركيزة واحدة ، قدم هيلبرت وديدينك Dedekind ، منذ السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر ، الأمثلة الأولى عن النظريات البديهية المجردة ، المطورة عمداً من أجل أن تشمل عدة نظريات قائمة ، لا تبدو فيها الاحتمالات خاصة ، وتكون بالتالي « مفسرة » على صعيد عالٍ . ان هذا الجهد المبدول قد اقترن ، أيضاً ، بتغير واضح جداً في الأسلوب ؛ فالمقالة المتواصلة (المنقحة أحياناً بالمطامح الأدبية) التي كان يقدمها معلّم القرن التاسع عشر الكبار قد

استُبدِلَت بمقاطع جافة مدعمة بقوة بالتعاريف والبديهيات والأحكام ، الضرورية من أجل وضوح المسار المنطقي .

وابتداءً من سنة 1910 ، اكتسبت هذه الحركة ، مع شتينيتز Steinitz وهوسدروف Hausdorff في ألمانيا ، ثم مع المدرسة البولونية والمدرسة الألمانية ، بعد الحرب ، قوة متزايدة باستمرار ، أخذت تسيطر قليلاً قليلاً على الفكر الرياضي الحديث . وتبلورت في عديد من المؤلفات ، كان أكثرها طموحاً كتاب « عناصر الرياضيات » الذي وضعه ن . بوريكي Bourbaki ، وكان قد حرّره منذ سنة 1935 جمهور من الرياضيين (في معظمهم من الفرنسيين ، يعودون ، خاصة في البداية ، إلى الجيل الذي عمل من أجل اعطاء المدرسة الفرنسية رسالتها التقليدية « الشمولية » التي كانت قد فقدتها بعد سنة 1920) . هذا الكتاب الموسع (الذي كان قد صدر منه ثمانية وعشرون جزءاً) يعود بالرياضيات إلى بداياتها ، دون أن يفترض ، عند القارئ ، وجود أية معلومات مسبقة ؛ فهو يجمع مختلف أقسام الرياضيات ، لا وفقاً للتقسيمات التقليدية ، المرتكزة على مظهرها السطحي ، بل وفقاً لارتباطها العميق ، المستخرج في ضوء بنيتها البديهية . وإذا كان الكتاب الجماعي الأول من نوعه دون شك ، قد بدا ثورياً بالنسبة إلى مناهج التعليم التمهيدي الأولي (الذي بقي متخلفاً جداً بالنسبة إلى تقدم العلم) ، فهو لم يُعد أن يكون قد قُنن في الواقع أفكاراً وتيارات مشتركة وشائعة بين كل الرياضيين الناشطين في الوقت الحاضر ؛ ان هذه الأفكار هي التي كانت تقودهم في بحوثهم إلى نجاح لا يمكن انكاره ، ويستدل عليه بالمسائل القديمة التي كانت تبدو كمحاجز منيع ، منذ ثلاثين سنة ، والتي أخذت تسقط ، في هذه السنوات الأخيرة ، الواحدة تلو الأخرى ، كقصر من ورق تحت ضربات ممثلي الرياضيات الحديثة من الشبان اللامعين .

القسم الثاني

العلوم الفيزيائية

الفصل الأول

الفيزياء الذرية والكانتية المعاصرة

حالة الفيزياء حوالي سنة 1900 - شكل القرن التاسع عشر الحقبة المتمصرة لما نسميه اليوم « بالفيزياء الكلاسيكية » أي الفيزياء التي تعالج الظواهر القابلة للرصد والمراقبة في سلمنا مباشرة . لقد ورث القرن التاسع عشر في هذه المجالات مكانس القرون السابقة ، وشاهد الاستقرار النهائي ، على قواعد أصبحت لا تتزعزع ، للميكانيك النظري والتطبيقي المتعلق بالأجسام ، وعلى مستوى كبير ، في الهيدروديناميك ، [علم تحرك السوائل] ، والسمعيات والبصريات الجيومترية . . . وشاهد سرعة ولادة ونمو علم البصريات الفيزيائية المحكوم بالنظرية التمرجية التي قال بها فرنل Fresnel ، ونظرية انتشار الحرارة التي قال بها فوريه Fourier ، وعلم الكهرباء الذي - من كولومب Coulomb وغالفاني Galvani إلى أمبير Ampère وحتى فرادي Faraday - ما انفك يتقدم بخطوات العرافة حتى يتهى إلى التركيب الفخم الذي وضعه مكسويل Maxwell : وشاهد أيضاً الترموديناميك [الحرارة في حالة الحركة] ، بفضل أعمال أمثال سادي وكارنو (Sadi و Carnot) ، وماير Mayer وجول Joule وكلوذيروس Clausius . . . يصبح علماً مستقلاً ومسيطراً يستطيع أن يقدم لكل فروع الفيزياء الأخرى ، أشكالاً من التحليل العقلي ومن المفاهيم العامة التي من شأنها أن تجد في كل مكان حقولاً تطبيقية ضخمة .

ومع ذلك ، ورغم كل هذه النجاحات السريعة والبراقة ، كانت فيزياء آخر القرن التاسع عشر تعاني من بعض الأمراض الخفية . إن نهضتها كانت الامتداد الطبيعي لنهضة الميكانيك في القرنين السابع عشر والثامن عشر : ولكن في حين كان الميكانيك يتركز بشكل واضح نوعاً ما ، في شكله ، على اعتبار وتقدير « للنقاط المادية » التي ترمز إلى بنية غير مستمرة للمادة ، أخذت الفيزياء الحديثة (والميكانيك بذاته عندما أخذ الأشكال الصلائمة لتمثيل الأماكن المستمرة في الهيدروديناميك وفي نظرية التمدد أو المطاطية) ، بصورة تدرجية ، وبصورة متزايدة الاتساع ، تستعمل صوراً وبيانات مستمرة تتيح استعمال معادلات ذات مشتقات جزئية . ان علم البصريات عند فرنل Fresnel ، والكهرمغناطيسية عند مكسويل Maxwell ، والترموديناميك التجريدي المؤسس على مبادئ حفظ الطاقة وعلى تزايد القصور ، كل هذه العلوم كانت تتناسى تماماً كل

بنية منقطعة للمادة وللطاقة وتبدو وكأنها ألغت من الفيزياء النظرية كل مفهوم حول المنقطع أو غير المستمر . إلا أن المنقطع لا يقبل إلغاءه من الواقع الفيزيائي وبسهولة كما تهيأ لبعض المنظرين : ان النقطة المادية تبقى في أساس القوانين التجريبية في الميكانيك ، والكيميائيون - حتى أولئك الذين ، وإن لم يوافقوا عليها ، رأوا فيها صورة ملائمة - اعترفوا بجدوى النظرية الذرية في المادة ، وقوانين التحليل المائي التي اكتشفها فاراداي Faraday أوحى بوجود بنية منقطعة للكهرباء .

ثم قام بوجه التيار العام الذي حمل الفيزيائيين نحو تمثيلات مستمرة للكون الفيزيائي تيار معاكس : فقام منظرون شجعان يدخلون في الصور المستمرة المقبولة عموماً ، عناصر منقطعة من شأنها أن تكملها وأن تستخرج منها معناها الواقعي الصحيح . وحاول كلوزيوس Clausius ومكسويل Maxwell وخاصة بولتزمان Boltzmann احياء مفهوم الذرة والجزيء في الفيزياء ، واقامة نظريات « حركية » في المادة وأن يجدوا فيها تفسيراً لمبادئ تجريدية في الترموديناميك وخاصة لمفهوم القصور الحراري [وهو كمية ، أو مقدار ، يدل على وجود اضطراب في مسار الطاقة] . كان هـ . آ . لورنتز Lorentz مقتنعاً بوجود بنية منقطعة للكهرباء ، فاستبدل النظرية الكهرمغناطيسية التي قال بها مكسويل بنظرية أدق تدخل ، تحت الاسم الترعوي « الكترونات » شحنات كهربائية متروطة وجسيمية .

هذه المحاولات التي بدت يومئذ فاسدة قليلاً ، وأحياناً غير مبرهنة بشكل كافٍ ، أثارت معارضة حادة من جانب المدرسة « الطاقوية » ، التي ناهضت بالتالي جهود « الذريين » . وقام مفكرون عظام ذوو ميول تجريدية ، متأثرين إلى حد ما بالفلسفات المثالية أو الوضعية ، أمثال أ . ماش E. Mach و . اوستولد W. Ostwald وب . دوهم P. Duhem ، يعارضون تضمين النظرية الفيزيائية عناصر منقطعة لا تخضع لأي مراقبة مباشرة . وكانت وجهة نظرهم ، المعبر عنها في أغلب الأحيان بشكل جازم ، يشاطروهم فيها معظم الفيزيائيين .

ولكن سبق أن تراكمت بين 1880 و 1900 البراهن التجريبية لصالح وجود بنية منقطعة للمادة ولل كهرباء . ان دراسة التفريغ [تفريغ الشحنة الكهربائية] في الغازات وتحليل ظاهرات التحليل المائي قادا إلى الفكرة القائلة باحتواء الغازات والموائيل على ذرات أو على مجموعات من الذرات هي الايونات الحاملة لشحنات كهربائية هي دائماً مضاعفات صحيحة لوحدة أساسية . فضلاً عن ذلك ان دراسات التفريغات [تفريغ شحنات كهربائية] في أنابيب كروكس (Crookes) العاملة على ظهور « الأشعة الكاثودية » ، قد دلت على أن الكهرباء السلبية هي دائماً محمولة بمواسطة جسيمات شديدة الخفة بشكل عجيب ، جرت العادة تدريجياً على تسميتها باسم « الكترونات » . هذه الالكترونات ، نجدتها دائماً شبيهة في البث التصويري الكهربائي لبعض المعادن الخاضعة لتشعيع الاضواء ذات الموجة القصيرة بقدر كافٍ ، وفي البث الحراري الايوني (ترموايونيك Thermo-ionique) في الخيوط المحمّاة إلى درجة الاتقاد ، وفيما بعد في اشعاع الأجسام المشعة (Radio actifs) : وقد جرى تتبع مساراتها ، وجرى تحييدها عن مجراها بفعل الحقول الكهربائية أو المغناطيسية ، كما جرى قياس نسبة شحنتها إلى كتلتها (masse) . واستطاع لورنتز Lorentz ، بعد

استناد بث الاشعاع من خلال المادة إلى حركة الالكترونات داخل الذرات ، أن يتنبأ بأن الخطوط التي يرسلها مصدر ضوئي تتغير بشكل من الاشكال عندما يوضع المصدر ضمن حقل مغناطيسي . وفي سنة 1896 قدمت تجارب زيمان Zeeman اثباتاً ملحوظاً لهذا التنبؤ الجريء .

وتدريجاً ، ورغم مقاومة أنصار الطاقة ، بدأ زعم الذريين - الفائل بأنه ، وراء المظاهر المستمرة للظواهر المرصودة على مستوانا ، تخفي ، على مستوى أصغر بكثير ، حقيقة عميقة تلعب فيها التقطعات الجسيمية دوراً أساسياً - مؤيداً كل يوم بالتجربة . وهكذا أخذت ترسم بداية منعطف كبير في تاريخ الفيزياء : لقد حدث الانعطاف ، ولكنه ، على اثر الظهور غير المتوقع اطلاقاً للكانتا (الكمات) (Les quanta) في العلم ، برز بشكل سريع وأسرع مما كان متوقفاً .

انتصار الحركة الذرية وظهور الكتا (الكمات) 1900-1912 - ابتداء من سنة 1900 ، وفي حين انضم كل الكيميائيين ، وبدون تردد ، إلى الفرضية الذرية ، جُمع الفيزيائيون مجموعة من البراهين التجريبية غير المباشرة حتماً ، إنما المتلاقية بشكل ملحوظ ، لصالح وجود الذرات والجزيئات . في فرنسا ، بقي اسم جان بيرران Jean Perrin مرتبطاً بهذه المرحلة من تاريخ الفيزياء . رسم لها كتابه المشهود « الذرات » جدولاً بارزاً . وقامت تجارب حاسمة أجريت في هذه الحقبة ، بقصد اثبات « الثابت » الشهيرة المعروفة باسم « عدد أفوغادرو Avogadro » ، بواسطة طرق متنوعة جداً . وان اعتمدنا الفرضية الذرية ، نصل إلى القول ، كما أثبت ذلك أمبير وأفوغادرو ، سنة 1815 تقريباً أن « الجزيء - الغرام » من جسم ما يحتوي دائماً على نفس العدد من الجزيئات . ان هذه الثابتة الأساسية في الحركة الذرية ، « عدد أفوغادرو » ، هي التي كانت موضع العديد من التعاريف فيما بين 1900 و1910 بفضل قياسات نجد عرضها في كتاب جان بيرران (Perrin) . ان التوافق الملحوظ بين التعاريف الموضوعية وفقاً لطرق مختلفة جداً يقدم في النهاية تأكيداً دامفاً ومطلقاً على وجود الذرات والجزيئات . فهي ، اذ تبين ان عدد أفوغادرو له قيمة ضخمة (تقريباً 6.10^{23}) ، تسمح بحساب كتلة (الثقل النوعي) ذرة الهيدروجين (القرية من : $1.6.10^{-24}g$) وبالتالي بحساب كتلة كل الذرات وكل الجزيئات .

وانصرفت أخيراً على هزة دعاة الطاقة ، فاتخذت النظرية الحركية حول المادة ، ويفضل جهود بولتزمان وجيبس Gibbs ، بشكل خاص ، الشكل الأكثر عمومية في الميكانيك فتوصلت ليس فقط إلى تفسير قوانين الغازات وإلى توضيح المعنى العميق للمبدأ الثاني في الترموديناميك ، بل أيضاً إلى التنبؤ بظواهر تستعصي تماماً على تنبؤات الترموديناميك الكلاسيكي ، مثل الحركة البراونية [نسبة إلى براون] التي هي انعكاس ، على مستوانا ، للاضطراب الفوضوي في الجزيئات ، ولتقلبات الطاقة والثقل النوعي ، وكانت هذه التقلبات قد برزت للعيان من خلال ظواهر التلاؤل الحرج . وقدمت أعمال متنوعة نظرية ، وبصورة رئيسية أعمال اينشتين (Einstein) وسمولوشوسكي Smoluchowski ، النظرية لهذه الظواهر مرتكزة على الميكانيك الاحصائي ، وهنا أيضاً ، قدمت التجربة ، بعد أن أكدت التوقعات النظرية ، براهين جديدة وقوية جداً ، تأييداً لوجود بنية متقطعة في المادة .

وحوالي سنة 1910 ، كان الذريون إذًا منتصرين ، وسلم الطاقويون الأكثر تعصباً أسلحتهم . ولكن بفعل ردة غريبة كان فوز الذريين أكبر مما كانوا يتوقعون . ليس فقط ، كما اعتقدوا ، ان التقطيعية (اللاتتابعية) قد بدت وكأنها مترسخة في المادة ، بل انها تورشك أيضاً أن تدخل في مجال الضوء ، وهو مجال يسود فيه أساساً منذ قرن تقريباً المفهوم التتابعي في التمرجات ، والحدث الأكثر عجباً أيضاً ، هو أن تنابعية حالات الحركة المرتبطة تماماً بتتابعية اطار الفضاء والزمن ، بدت بحالة الخطر بفعل ظهور « الكانتا » (الكمّات) .

إن أصل نظرية الكانتا قد وجد في البحوث الجارية على يد الفيزيائيين حول مسألة الاشعاع الأسود .

يعرف الاشعاع الأسود بأنه الاشعاع الموجود داخل ساحة ، أو فرن محفوظ بكامله بدرجة حرارة واحدة . واستطاع كيرشهوف (Kirchhoff) ، بعد أن استعمل المفاهيم العامة في الترموديناميك [التحرك الحراري] ، ان يبين إن هذا الاشعاع يرتبط فقط بدرجة حرارة الساحة ، وانه مستقل تماماً عن طبيعة جوانب هذه الساحة وعن الاجسام المادية التي يمكن أن تحتويها . ودائماً بواسطة الترموديناميك ، بين ستيفان Stefan وبولتزمان بأن الكمية الكاملة من الطاقة الموجودة في وحدة حجم تزداد بسرعة كلية مع ارتفاع درجة الحرارة (على أساس التضعيف الرباعي لهذه الدرجة) . ولكن القضية الكبرى بقيت وهي العثور على قانون توزيع الاشعاع الأسود ، أي العثور على صيغة تمثل التوزيع الطيفي لطاقة الاشعاع بين مختلف أطوال الموجة الموجودة فيه . وحصل واين Wien وهو يتعمق في التحليل الترموديناميكي ، على صيغة توزيع حيث تتواجد رغم هذا وظيفة عشوائية : ان صيغة واين قدمت هكذا ، حول التوزيع الطيفي للاشعاع الاسود توضيحات مهمة ، انما دون أن تتوصل إلى تعريفه بشكل كامل .

وبعد عمل واين ، لاحظ المنظرون ان الترموديناميك قد أعطى حول هذه النقطة كل ما يمكنه أن يعطيه ، وانه ، من أجل التحديد الكامل للتوزيع الطيفي للاشعاع الاسود ، كان لا بد من إدخال تحليل مبادلات الطاقة بين المادة والاشعاع .

ولكن ، حوالي سنة 1900 ، بدا هذا سهلاً لأن النظريات الحبيبية حول الكهرباء ، وخاصة نظرية الكثرونات لورنتز Lorentz ، أدت إلى تصوير عمليات بث وامتصاص الاشعاع بواسطة المادة وكأنها تفاعليات مستمرة متتالية لا يُظن أن قوانينها معروفة . ولكن وكما بين ، في بادئ الأمر ، لورد رايلي Rayleigh ، ثم غيره من المنظرين أمثال ج . جينز J. Jeans وه . بوانكاريه H. Poincaré ، اذا قبلنا بهذه القوانين ، فاننا نصل بالضرورة ، بالنسبة إلى التوزيع الطيفي لطاقة الاشعاع الاسود إلى قانون محدد تماماً . ان هذا القانون يتفق مع قوانين الترموديناميك التي وضعها « ستيفان - بولتزمان » ومع قوانين واين Wien ، ولكنه يدخل في الأولى معاملاً (Coefficient) لا نهائياً ، وهذا أمر غير مقبول . فضلاً عن ذلك ، في حين درس المنظرون هذه المسألة : طريق الحساب ، حدد المجربون ، في مختبراتهم الشكل التجريبي العملي للتوزيع الطيفي للاشعاع الاسود ، وبدا هذا الشكل منافيًا لقانون رايلي - جينز Rayleigh-Jeans .

ووجدت فيزياء تلك الحقبة إذاً أمام فشل كامل في مفاهيمها . عندها اخذ ماكس پلانك M. Planck يدرس هذه المسألة المزعجة .

كان پلانك حتى ذلك الحين ، وبشكل خاص ، متخصصاً في الترموديناميك : لقد أعمل الفكر كثيراً بأسس هذا العلم فعرف كل أركانه وأسراره ، ولدى مواجهته مسألة الاشعاع الأسود ، سعى بالفريزة إلى توضيح كل السمات الترموديناميكية لهذا الاشعاع ، عن طريق ادخال ، ليس فقط طاقته ، بل وأيضاً قصوره (entropie) . اعتمد [پلانك] المفهوم المستمر في البث والامتصاص المقبول في تلك الحقبة ، فعاد بالتالي إلى قانون رايلي - جينز وجاءت مصادفة غريبة تغير اتجاهه (إني استعير هذه المعلومات من الكتاب الثمين المنشور بعد الوفاة للمؤلف ر . دوغاس R. Douglas وعنوانه : النظرية الفيزيائية كما فهمها بولتزمان وامتداداتها المصرية) : طلب پلانك إلى بولتزمان رأيه في أعماله ، فأجابه هذا المعلم الذي كان يعرف جيداً أسس التاويل الاحصائي للترموديناميك ، انه لن يحصل اطلاقاً على نظرية ترضي حوزل التوازن بين المادة والاشعاع ان لم يدخل التقطع [أي اللاتتابع] في عمليات البث والامتصاص . واقتنع پلانك بأن الفيزيائي الشهير على حق ، فاتجه في هذا المنحى الجديد ، وهكذا توصل ، بعد جهود ترك لنا قصتها المؤثرة ، إلى هذه الصيغة الشهيرة التي سميت « صيغة پلانك » والتي تصور تماماً التوزيع الطيفي للطاقة في الاشعاع الأسود . ولكي يتوصل إليها ، توجب عليه أن يفترض ان الالكترونات في المادة لا يمكنها أن تكون محركة بحركاتٍ كيفما اتفق ، بل فقط بعض الحركات المميزة الخاصة ، هي الحركات المكتممة [أي ذات الكمية المحددة] ، وبالتالي الافتراض ان الطاقة المشعة ذات التردد (ν) تُبَثّ دائماً وتُمتَصُّ بكميات محدّدة تساوي (hν) باعتبار h ثابتة جديدة أساسية في الفيزياء ، هي ثابتة پلانك ، وقيمتها العددية تحدّدت في الحال بالمقارنة مع النتائج التجريبية .

لقد كانت فرضية الكانتا جريئة جداً . فقد بدت وكأنها تقتضي تقطيعاً للحركات الممكنة التي يقوم بها جسيم ما في حقل قوة غريبة تماماً عن مفاهيم الميكانيك الكلاسيكي : وكان هناك شكل من أشكال الاستمرارية ، غير متوقع على الاطلاق ، ومختلف تماماً - على ما يبدو - عن الشكل الذي نلتقيه في بنية المادة وفي الكهرباء . فضلاً عن ذلك ، إذا كان البث ، بالكانتا ، للطاقة المشعة ، يمكن أن يتلام ، عند الضرورة ، مع الفكرة المقبولة يومئذ والقائلة بأن الطاقة ، في الضوء وبصورة أعم في كل الاشعاعات ، توزع بشكل متتال ، فإنّ الامتصاص بالكانتا يؤدي ، على ما يبدو ، إلى وجود بنية جسيمية للطاقة المشعة ، تتناقض تماماً مع النظريات التمرجية التي قال بها فرنل ومكسويل . وفي حين كان پلانك يتردد في قبول هذه النتيجة القصوى لأفكاره بالذات ، راح انشتين يقدم لصالحها برهاناً قاطعاً .

في سنة 1905 ، قام ألبرت انشتين Albert Einstein بوضع نظرية النسبية فاكتشف التفسير الوحيد الصالح « للآثر الكهربائي الضوئي » (Photoélectrique) الغامض . ويقوم هذا التفسير على افتراض بأنّه في اشعاع ذي تردد (ν) ، تتركز الطاقة بشكل جسيمات « أو كانتا » من الضوء قيمتها

($h\nu$) تسمى اليوم « فوتون » ، بشكل ان مطلق معدن « باث للضوء » (Photoémissif) إذا ضرب بنور وحيد اللون ، يتلقى اجمالاً دفقاً من الفوتونات : وإذا كان الإشعاع مرتفعاً نوعاً ما ، فإن الالكترونات الموجودة في المعدن من شأنه أن يمتص طاقة « فوتون » وان يقذف خارج المعدن بشكل « الكروونات ضوئية » بطاقة حركية تزايد بنسبة تزايد التردد . ان القانون الأساسي للأثر الضوئي الكهربائي ، والذي لم يكن بالامكان التعبير عنه بواسطة المفاهيم الكلاسيكية حول الضوء ، قد بان هكذا بفضل تحليل بسيط للغاية . وعمق انشتين نتائج وجود حبيبات « كاتنا » الضوء ، فدغم نظريته حين درس بالعمق توازن الاشعاع والمادة ضمن مساحة ذات توازن حراري ، وكذلك تقلبات الطاقة في الاشعاع . وبعد أن شعر انشتين بأننا لا نستطيع تماماً ترك صورة الموجات الضوئية (وهي (أي الصورة) ضرورة من أجل تعريف تردد البث وبالتالي طاقة الفوتون [كمية حبيبات الضوء] المطابق) رأى بوضوح ضرورة التوصل إلى نظرية تركيبية للاشعاع تنبئ بأن واحد عن مظهره الجسيمي وعن مظهره التأموجي ، ثم أعلن عن بعض الشروط الضرورية لهذا التركيب .

وهكذا تجاوزت نظرية « الكاتنا » الفرضية الذرية واكملتها بمعنى من المعاني في حين بين نجاحها أن اللامتناهية لا توجد فقط في بنية المادة ، بل توجد أيضاً ، بشكل يصعب تفسيره ، في بنية الضوء وفي كل الاشعاعات . حتى إنها تبدو ، وبشكل غير متوقع ، وكأنها تمتد إلى الحركات بالذات . وهكذا جرت هذه النظرية الغريبة - نظرية الكاتنا ، التي أخذت تزايد نجاحاتها كل يوم ، خاصة في تفسير بعض الظواهر التي ظلت حتى ذلك الوقت بدون تفسير في مجال الحركات الذاتية - « اللذين » إلى أبعد من النقطة التي ربما كانوا يتمنون هم أن يقفوا عندها .

نظرية بوهر (Bohr) وامتداداتها (1913-1923) . سنة 1913 عرفت نظرية « الكاتنا » نجاحاً كبيراً : وقد فتحت أمامنا باب العالم الذري واسعاً . وقام عالم فيزيائي شاب هو نيلس بوهر Niels Bohr ، وكان يومئذ يقوم بالتمرن في مختبر يديره أرنست زودرفورد Ernest Rutherford في كمبريدج ، بدراسة جيدة لنموذج الذرة ، باعتباره شبيهاً لنظام شمسي مُصَغَّر ، اقترحه الفيزيائي الانكليزي الشهير مترجماً بدقة نتائج تجاربه الشهيرة حول الانحراف الذي يصيب الأشعة الفا (α) عندما تتجاذر المادة : وقد أعجب بوهر بأناقة هذا النظام ، ولكن أقر أيضاً بصعوباته . كان يعلم بشكل خاص ، انه إذا اعتمدنا الأفكار الكلاسيكية حول صدور الإشعاعات ، فإن الذرة كما يراها رودرفورد لا يمكنها أن تبت طيفاً من الخيوط ذات الترددات المعينة ، وتكون كذلك غير مستقرة ، إذ تأتي الالكترونات الجوانبية بسرعة لتقع على النواة ، وأدرك بوهر انه للحصول ، انطلاقاً من هذا النموذج الذري ، على نتائج مقبولة ومطابقة للوقائع ، فانه يتعين أن نطبق عليه الافكار التي جاءت بها نظرية « الكاتنا » . واستلهم ، بصورة مباشرة ، مفاهيم بلانك وانشتين ، فاقترح البديهيتين التاليتين :

1 - من بين الحركات التي عرفها الميكانيك القديم كممكنة ، بالنسبة إلى الالكترونات البينذرية في نموذج رودرفورد ، وحدها تكون مستقرة ومتحققة في الطبيعة بعض الحركات التي تتوفر

فيها بعض شروط التكميم (quantification) حيث تتدخل ثابتة بلانك بحيث لا تستطيع الذرة أن تتواجد إلا في عدد من الحالات « الثبوتية » الممكنة .

2- من شأن الذرة أن تمر « بانتقال » مفاجيء من حالة مكمة الطاقة E_i ، إلى حالة أخرى مكمة الطاقة $E_k > E_i$ (أو العكس) ، وهذا الانتقال يقترن ببث (أو بامتصاص) « كمية من الضوء » (كانتوم) (مقدراها فوتون) تساوي $(h\nu)$ بحيث أن حفظ الطاقة يفرض المعادلة $h\nu = E_i - E_k$ المعروفة تحت اسم « قانون ترددات بوهر » .

وعلى أساس هاتين البديهيتين المسلّمتين الأساسيتين ، بنى نيلس بوهر نظرية كمية « كانتية » للذرة من نمط جديد تماماً ، أوضحت في الحال عدداً كبيراً من وقائع كانت حتى ذلك الحين غامضة ، كما أحدثت تأثيراً رئيسياً على توجهات الفيزياء المعاصرة .

ولا نجد المجال هنا لاعطاء لمحة عن نجاحات هذه النظرية الشهيرة التي وضعها بوهر . نكتفي فقط بالإشارة إلى أنها أتاحَت منشأ القوانين التي أعطت تردد الخيوط الطيفية ، التي تبثها الذرات ، وهي قوانين مستخرجة من التجربة ، وقد ظل تأويلها حتى ذلك الحين مستحيلاً ، كما أتاحَت رؤية الطبيعة الحقّة ، الكمية في جوهرها ، لظواهر إثارة وتأين الذرات والجزيئات بواسطة الصدمات . ويجب أن نذكر أن بوهر Bohr استطاع أن يفسّر بشكل ملحوظ الفرق الصغير جداً بين القيم التي يجب اسنادها للثابتة المسماة « ثابتة رايدبرغ » ضمن طيف الهيدروجين وطيف الهليوم .

في سنة 1913 ، قدم بوهر نظريته بشكل مبسط يُبرز بقوة مداها المفهومي الضخم ، ولكنه يقلل من وضوحها ومن قوتها التفسيرية . وفي السنوات التي تلت ، وسعت أعمال أخرى ، خاصة أعمال سومرفلد Sommerfeld سنة 1916 ، ووضحت الشكل البدائي لتحليلات بوهر . طبق سومرفلد ومتابعوه على القسم الديناميكي من المسألة تصحيحات النسبية ، موسعين صيغة شروط التكميم ، ووضعوا نظرية خطوط طيفية أكثر تفصيلاً من نظرية بوهر ، من شأنها توضيح قسم من بنياتها الدقيقة ، مطوّرين بنجاح نظريات مفعول زيمان Zeeman ومفعول ستارك Stark (تفكيك الخطوط الطيفية المرسلّة من قبل مصدر ضوئي عندما يخضع هذا المصدر لحقل مغناطيسي أو لحقل كهربائي) .

وهكذا تكوّن تدريجياً ، على أساس مفاهيم بلانك Planck ، ما سمي « نظرية الكانتات القديمة » ، وهي عقيدة لقيطة قليلاً تضيق ، مع احتفاظها بالنسبة إلى حركة الوحدات الجسيمية بقوانين الديناميك القديم النقطية (ponctuelles) ، عدد الحركات ممكنة التحقيق فيزيائياً ، وذلك باشتراطها فيها توفر بعض الشروط التكميمية حيث تظهر الثابتة (h) . وكما هو ظاهر فإن هذه النظرية تعاني من بعض التناقضات الداخلية ، وقد تبين بسرعة ، رغم نجاحاتها ، ورغم قدرتها التفسيرية الضخمة ، أنها لا توصل دائماً إلى نبوءات موفقة . ومع ذلك ، وبفضل الهام عميق عرف ن . بوهر N. Bohr كيف يرفع ، وبشكل ضخم ، مداها حين أعلن عن « مبدأ التطابق » (Principe de Correspondance) ، الذي سوف نقف عنده لحظة .

قدمت نظرية الكهرمغناطيسية الكلاسيكية التي قال بها مكسويل ولورنتز (Maxwell-Lorentz) صورة عن عملية بث الاشعاعات من قبل المادة التي يجب أن تتيح امكانية حساب التوتربدقة ، وحساب الاتساع والاستقطاب أو التكتف في الاشعاع الصادر . وللأسف ان الطبيعة المتقطعة لعمليات البث والامتصاص التي كشفت عنها أعمال بلانك Planck ، والبنية المتقطعة للاشعاع بالذات ، الناتج عن ادخال مفهوم الفوتون ، لم يسمحا ابدأ بالوثوق بنظرية مكسويل - لورنتز للحصول على وصف كامل للحقيقة الفيزيائية . ان نظرية الكائنا القديمة كانت تتوافق ، بالعكس ، مع صورة الانقطاعات ، ثم بواسطة انتقالات بوهر وقانونه حول التواترات ، كانت تؤدي إلى تنبؤات ممتازة في الغالب بالنسبة إلى ترددات الخطوط الطيفية . ولكنها [نظرية الكائنا القديمة] لما كانت قد تخلت عن وجهة النظر التارخجية في النظرية الكلاسيكية ، فإنها لم تتوصل إلى التنبؤ . ولا حتى إلى التعريف الواضح - بزخم وبكثافة اشعاع ما ، وبدت عاجزة عن تقديم تأويل لظواهر التشتت والانتشار ، التي يتدخل فيها المفهوم التارخجي لغارق المرحلة تدخلاً أساسياً .

ومن أجل البحث في تلافي هذا النقص أعلن بوهر ، سنة 1916 ، مبدأه في التوافق . وكانت الفكرة التي وجهت سعيه بدت قابلة للصياغة على هذا الشكل : بما ان نظرية ماكسويل - لورنتز Maxwell-Lorentz تقدم تأويلاً جيداً للظواهر الكهرمغناطيسية ، على مستوانا ، فمن الضروري الافتراض بأنها تشكل صورة احصائية صحيحة لمجموعات العمليات الأولية التي يدخل فيها عدد كبير من الكائنا . ويتقبل هذه المسلمة الواقعية ، وباستكمالها ، بنوع من الجرأة ، في مجال الاعداد الصغيرة من اعداد الكائنا ، استنتج بوهر Bohr منها - عبر صيغ وإن لم تكن واضحة تماماً ، إلا أنها كانت واضحة بما فيه الكفاية لتكون ممكنة الاستخدام - طريقة تقريبية للتنبؤ بالزخم والكثافة في الخطوط الطيفية . وبلاستعمال الناجح ، خاصة في نظريات مفعول ستارك Stark ، ومفعول زيمان Zeeman ، قدمت هذه الطريقة ، مهما كان نقصها يومئذ ، خطأً مئياً منوجهاً وهادياً من أجل وضع النظريات الكائنية ، ومن أجل دراسة الانتقال من الظواهر المنقطعة ، في الميكروفيزياء ، إلى الظواهر ذات المظهر المتتابع في المستوى الماكروسكوبي (العياني ، ما يرى بالعين المجردة) وخصبها ما يزال واعداً حتى في أيامنا هذه .

ويجب أن نذكر ، منذ الآن ، ان نظرية بوهر وامتداداتها أدخلت إلى الفيزياء النظرية صوراً جديدة بدا تفسيرها صعباً . ان الذرة ، وبوجه أعم ، الأنظمة الميكروفيزيائية التكميمية ، بدت وكأنها موجودة ، بشكل شبه دائم ، في حالات جمود لا يتطور عبر الزمن ، والانتقال من حالة جمود إلى حالة أخرى يمكن أن يحصل فجأة عبر انتقال كائني [كمي] لم يقدم عنه أي وصف . ان الحالات التوقفية - بحكم عدم تطورها - كانت تمنع أي شيء من التفهيم عن سبب حدوث الانتقال الكائني في لحظة دون لحظة أخرى . وانسجماً مع مذكرة مهمة وضعها انشتين - الذي بين ، في سنة 1917 ، الرابط القائم بين قانون التواترات الذي قال به بوهر Bohr وبين معادلة بلانك Planck حول الاشعاع الأسود - تم التوصل بالتالي إلى تحديد احتمالات الانتقال ضمن وحدة زمنية . تجاه هذا الوضع ، كان هناك موقفان ممكنان . فبالإمكان ، انسجماً مع الأفكار الكلاسيكية في الفيزياء ، القول ان انعدام تطور الحالات التوقفية ، والسمة المفاجئة والمستعصية

على الوصف ، التي تنصف بها الانتقالات الكانتية ، ليس الا مظاهر ، وان الانتقالات الكانتية هي ، ولا شك ، عمليات سريعة جداً ، إلا أن تطورها يمكن ، يوماً ما ، أن يوصف ، وأن الحالات التوقفية ، الأقل جموداً مما هو ظاهر للعيان ، تصيبها تغييرات خفية من شأنها أن تنقلها إلى مراحل لا استقرارية ، وبالتالي استحداث تغييرات وانتقالات : وعبر هذا الأسلوب في الرؤية ، بقي تدخل احتمالات الانتقال موافقاً للتصور التقليدي وبموجه يكون الاحتمال هو التعبير عن جهلنا لغائية خفية . بالامكان أيضاً اعتماد موقف معارض تماماً والافتراض بأن الحالات التوقفية لا تتطور على الإطلاق ، وهي نوعاً ما خارج الزمن ، في حين إن الانتقالات الكانتية هي عمليات آنية مؤقتة تستعصي تماماً على كل وصف بتعابير الفضاء والوقت : ان احتمالات الانتقال تصبح عندها التعبير عن نوع من المصادفة الخالصة ، ذات الامكان الاحتمالي المطلق ، الذي لا يتج عن جهلنا لغائية خفية ، ونحو هذا الرأي بدا ميل بوهر ، منذ بداية أعماله ، ولصالحه أيضاً استعمال كل ما لسلطته الكبيرة جداً من وزن . ففي نظره ، كانت الحالات التوقفية والانتقالات الكانتية عمليات من نمط مجهول جداً في الفيزياء الكلاسيكية ، عمليات « تتجاوز » وتسمو على اطار الفضاء والزمن وتستعصي على كل تأويل تقليدي . بالتأكيد يمكن القول ان هذا الأسلوب في الرؤية هو بكل بداهة ، وليد المفاهيم الأساسية في نظرية الكانتا ، وانه يفتح آفاقاً جديدة جديرة باهتمام الفلاسفة وعلماء المعرفة . ولكن من المؤكد انه يوشك أن يؤدي إلى مسالك خطيرة وغير مضمونة . فهو إذ ينقل خط التماس بين الفيزياء والميتافيزياء ، قد حط به في مجال يبدو ، مع ذلك ، متنبياً إلى الفيزياء . وهو [أي هذا الأسلوب في الرؤية] يشكل نوعاً من التخلي عن الهدف الذي التزم به دائماً ، وينجاح دائم ، البحث العلمي الساعي للوصول إلى التفسير وإلى الفهم ؛ وهو يتضمن الخطر الكبير جداً ، خطر العودة إلى نمط التفسير الكلامي الخالص الذي أعاق تقدم المعارف البشرية ، ونحن سوف نعود فيما بعد إلى هذه المسائل .

الميكانيك التومجي وامتداداته (1923-1939) - حوالي سنة 1923 بدت نظرية الكانتا القديمة ، وكأنها قد بلغت أقصى حدود قوتها التفسيرية . كانت نظرية مهجنة استمرت تستعمل مفاهيم وقوانين الميكانيك القديم « الميكانيك النقطي » ، مع فرض حدود وقود « كانتية » عليه ، كانت غريبة عنه تماماً ؛ ومع ذلك فقد أحرزت نجاحات كبيرة جداً ، وقذفت بموجة من الضياء في مجال بقي ، حتى ذلك الحين ، مظلماً جداً ، في الفيزياء الذرية . ولكن العلماء بدأوا يتيقنون في كثير من الحالات ان تنبؤاتها [أي نظرية الكانتا القديمة] لا تتسجم مع الوقائع العملية . وبدأوا يستشعرون وجوب ادخال اصلاح كبير عليها ، مع الاحتفاظ بكل ما دام فيها صحيحاً .

وكانت أولى المحاولات بهذا الشأن ، في مذكرات ظهرت في « محاضرات جلسات أكاديمية العلوم » في خريف 1923 ، ثم وُسِّعت في أطروحة دكتوراه تمت مناقشتها في تشرين الثاني 1924 ، وضعها كاتب هذه السطور . وشكلت هذه الأطروحة أساس ما يسمى اليوم بـ « الميكانيك التومجي » . وكان الهدف الأساسي من وراء هذه المحاولة التوصل إلى نظرية تأليفية تركيبية حول الموجات والجسيمات التي يظهر فيها الجسيم كنوع من « العارض الطارىء » المندمج في بنية موجة يوجهه انتشارها . وبدا الوضع القائم سنة 1923 يتطلب جهداً من هذا النوع بدت الحاجة إليه

ظاهرة بوضوح أمام أنشتين ، ومنذ مدة طويلة ، انما في حالة خاصة فقط هي حالة الضوء وحالة الفوتون . في هذه الحالة الخاصة ، بدأت التحقيقات المتتالية حول نظرية الكائنا الضوئية ثم اكتشاف مفعول كومتون (Compton) الحديث يومئذ ، تدلّ على صحة استلهامات انشتين العميقة . ولكن في حالة الجزيئات غير الفوتون ، وفي حالة الجسيمات المادية مثل الالكترونات ، هل يتوجب تخيل قيام مثل هذه الثنائية « موجة - جسيم » ثم استخلاص النتائج منها ؟ هل يتوجب ربط الصورة الجسيمية المقبولة عادة بالنسبة إلى الالكترون بصورة موجة ترافقها في حركتها ؟ ان ههنا لفرضية جريئة للغاية ، لا شيء في تلك اللحظة كان يوحى بصحتها .

إلا أن بعض المؤشرات كانت ترسم على هذا الطريق منها : ان نظرية هاميلتون - جاكوبي Hamilton-Jacobi ، التي سبق أن طوّرت منذ قرن في اطار الميكانيك التحليلي الكلاسيكي ، كانت تدل على وجود قرين خفية بين حركة النقاط المادية وانتشار موجة ما ، وتدخل الاعداد الصحيحة في معادلات تكميم نظرية الكائنا القديمة ، كان يذكر بأن ظاهرات التداخل أو التجاوب يجب أن تتدخل في استقرارية حركة الالكترونات الذرية الداخلية ، الخ . واستلهاماً من هذه الملاحظات استطعت أن اضع الركائز الأولى للميكانيك التموجي ، ثم الحصول ، بمساعدة التحليلات والبراهين النسبية ، على الروابط والعلاقات التي تجمع بين الطاقة وكمية الحركة في جسيم ، وبين تواتر وطول الموجة ، في موجة تؤدي الافكار السائدة في الميكانيك التموجي إلى قرينها بها . وتطبيق هذه المعادلات على الحالة الخاصة في « الفوتون » نصل مباشرة إلى المعادلات التي توصل انشتين إلى افتراضها في نظريته حول كائنا الضوء . وتتيح النظرية الجديدة ، فضلاً عن ذلك ، تأويل مدلول شروط التكميم في نظرية الكائنا القديمة .

هذه المحاولة الجريئة كان يمكن أن تمر غير ملحوظة ، لو أن انشتين ، منذ كانون الثاني 1925 لم يشر إلى أهميتها ، ولو أنه لم يستعملها في تطبيقات عميقة على نظرية الغازات . في ربيع 1926 وفي سلسلة من الأعمال المدهشة ، أقام أروين شرودنجر Schrodinger ، على أسس رياضية صارمة ، « شكلانية » الميكانيك التموجي لأنظمة الجسيمات . وبين كيف يجب أن يتم تحديد الحالات التوقفية للأنظمة الذرية ، وعثر بالتالي ، مع تحسينها في أغلب الأحيان ، على تنبؤات نظرية الكائنا القديمة ، وأخيراً استطاع أن يبين ان الشكلانية ، التي طوّرت سنة 1925 من قبل ورنر هيسنبرغ Werner Heisenberg ، ليست الا نقلاً رياضياً لشكلانية الميكانيك التموجي ، الأمر الذي يفسر تطابق توقعاتهما . وبعد منشورات شرودنجر ، تمّ انجاز عدد ضخم من تطبيقات الميكانيك التموجي تحت الشكل الذي أعطاه اياه ، وب نجاح كبير ، وجاءت هذه التطبيقات تثبت أهمية التقدم المحقق . وكان يمكن التمني مع ذلك تقديم برهان تجريبي مباشر على وجود الموجة المقترنة بالالكترون : وهذا البرهان لم يتأخر طويلاً ، إذ ، منذ بداية 1927 ، قام مهندسان أميركيان هما ش . ج . داليسون (C. J. Davison) ول . ه . جرمر (L. H. Germer) باكتشاف - دون بحث مقصود - ظاهرة شطر أو انكسار الالكترونات بواسطة البلور ، وهي ظاهرة تشبه ظاهرة انكسار أشعة إيكس (X) بالبلور ، واستطاعا بالتالي التثبت من صحة تصورات الميكانيك التموجي ، والصيغ التي عليها يرتكز وكررت هذه التجارب بأشكال متنوعة من قبل عدد كبير من المعجبين ،

وشملت جزئيات غير الالكترونات وحتى الترونات ، فقدمت (أي تجارب الانكسار بواسطة البلورات) الدليل الأكيد على أن اتحاد الموجات والجسيمات ، ليس مجرد رؤية فكرية . وجاءت براهين أخرى تنضاف إلى التجارب ، إذ أمكن الحصول على تكسير (شطر) الالكترونات بواسطة طرف شاشة ، وعلى تداخل الموجات الالكترونية بأساليب مماثلة لتلك التي تسمى في علم البصريات موشور فرنل Fresnel المزدوج ، أو ثقب يونغ أو الشفرات الرقيقة .

وخارج الموجة المقترنة ، جاء عنصر جديد يضاف إلى معرفتنا بخصائص الالكترون ، والجسيمات الأخرى : انه « السبين » (Spin) . ودلت ظاهرات طيفية ومغناطيسية ، وصفت بانها شاذة حيث لم يمكن التوصل إلى تأويلها ، انه لا يكفي تمييز الالكترون بكميته «masse» وبشخصته الكهربائية ، وفي سنة 1925 ، توصل ج . ف . اوهلنبيك G. F. Uhlenbeck وس . آ . غودسميت S. A. Goudsmit من أجل تفسير هذه الوقائع إلى اعطاء الالكترون نوعاً من الدوران الداخلي يترجم بظهور عزم كمية من الحركة وعزم مغناطيسية « خاصين » : هذه الخاصية الجديدة التي أعطيت الاسم الانكليزي « سبين » ، ظهرت كأساسية تماماً ، وربما الأكثر تجسراً ، بالنسبة إلى الجسيمات الأولية ، مما يوحي ، بمعنى ما تقريباً من أعاصير ديكاوت . ورغم استطاعة اوهلنبيك وغودسميت ، وتلاميذهما أن يبينوا بسرعة ان ادخال السبين يتيح تفسير الشذوذات المشار إليها أعلاه ، فقد مرت لحظة وضع عجيب مفاده ان السبين - المكتشف في اللحظة التي أخذ فيها الميكانيك التومجي يزدهر - بدا وكأنه غريب تماماً عن هذا الميكانيك . وانه في السنة 1929 فقط ، توصل ب . آ . م . ديراك إلى بناء شكل للميكانيك التومجي يتمتع بأن واحد ، بالتأثير النسبي ويحتوي السبين . هذه النظرية المتعلقة بالكترون ديراك - التي أتاحت عدداً كبيراً من التنبؤات الصحيحة سواء فيما يتعلق بالبنات الدقيقة لأطياف الخطوط ، أو فيما يتعلق بالشذوذات الطيفية والمغناطيسية - كانت موضوع العديد من الدراسات ، وشكلت أحد المفاتيح المهمة في الفيزياء النظرية المعاصرة .

وبعد استكمالته بنظرية ديراك ، كان الميكانيك التومجي موضوع كثير من التطبيقات المثمرة ، التي لا نستطيع ادراجها كاملة . فقد أتاح لـ ج . غامو G. Gamow أن يقدم صورة مفيدة للتحطم الاشعاعي ، الذي تستطيع المفاهيم الجديدة وحدها تقديمه . ان الميكانيك التومجي لأنظمة الجزيئات - بالشكل المسمى شكل شروذنجر ، مقروناً « بمبدأ الاستبعاد » الذي قال به بولي Pauli ، الصالح بالنسبة إلى فئة كاملة من الجزيئات ، ومنها الالكترونات أدى إلى تمييز نوعين من الجزيئات الموجودة في المادة : الجزيئات ذات وظيفة الموجة المضادة للتساوق أو فرميون [عنصر فلزي اشعاعي النشاط] ، الخاضعة لمبدأ الاستبعاد والاحصاء الذي وضعه فرمي - ديراك (Fermi-Dirac) ، والجزيئات ذات وظائف الموجة التساوقية أو « البوزون » ، غير الخاضعة لمبدأ الاستبعاد وتخضع لاحصاء بوز - انشتين .

إن توزيع الجزيئات إلى فئتين ، المرتبط بقيمة « سبينها » [سبين : الدوامية ، المغزل] يلعب دوراً أساسياً في الفيزياء المعاصرة .

إن الميكانيك التومجي الموضح هكذا قد مكن أيضاً و . هيسنبرغ من وضع نظرية فخمة

حول طيف الهليوم توضع خصوصيات بقيت حتى ذلك الحين غامضة حول هذا الطيف ، وتتيح العنور مباشرة في بنيتها على برهان على صحة مبدأ بولي (Pauli) ، وانطلق و . هيتلر W. Heitler وف . لندن F. London ، من نظرية جزيء الهيدروجين ، فاستطاعا اثبات ان الميكانيك التومجي وحده يتيح فهم الطبيعة الحقبة لمفهوم القابلة (Valence) الكيمائية والقوى التي تؤمن الاستقرار في الأبنية الجزيئية . وكان هذا العمل أصل تطوّر فرع جديد في النظرية الفيزيائية ، المسماة اليوم بالكيمياء النظرية أو الكيمياء الكانتية [الكمية] التي ، وهي تدرس بشكل عام العلاقات الكيمائية وتحولاتها ، تقدم كل يوم معلومات جديدة حول البنية وحول خصائص الجزيئات ، وبصورة رئيسية الجزيئات العضوية ، وحول الحركة الكيمائية ، الخ . ودونما الحاح على التطبيقات العلمية والتقنية لانشطار الالكترونات في دراسة البنيات المادية ، أضيف ان البصريات الالكترونية ، التي نعرف تطورها السريع ، لم تأخذ كامل معناها إلا في ضوء الميكانيك التومجي ، خاصة في المسائل المشابهة لمسألة « الطاقة الفاصلة » : نحن نعرف الأهمية الأساسية التي احتلها الميكرومكوب الالكتروني في مجالات كثيرة من العلم النظري أو التطبيقي ، خاصة في دراسة المعادن مجهرياً « متالوغرافيا » وفي الميكروبيولوجيا .

وبالعودة الآن إلى المسائل المبدئية ، لا بد أن نقول بعض الكلمات عن الوجهة ، التي اتخذها ، منذ حوالي ثلاثين سنة ، تفسير الميكانيك التومجي . ان المحاولة التي جرت سنة 1925 ، من قبل ورنر هيسنبرغ ، الذي كان يعمل في كوبنهاغن تحت اشراف نيل بوهر ، كانت متأثرة جداً بمفاهيم مؤلف النظرية الكانتية حول الذرة ، والتي سبق أن أشرنا إليها . وهذه النظرية استلهمت أيضاً الأفكار الوضعية أو الظاهراتية التي أصبحت بصورة تدريجية « المعتقد الأساسي » لمدرسة وينز كريس الفلسفية ، والتي بموجبها يجب على النظرية الفيزيائية أن تدخل فقط مقادير يمكن رصد قيمتها مباشرة ، وأن تتجنب كل تصور تكون بعض عناصره مستعصية على التجربة . ان « الميكانيك الكانتية (الكمي) » ، المحرك بهذه الروحانية « روحية كوبنهاغن » التي تذكر في بعض جوانبها بروحية المدرسة الطاقوية القديمة ، ان ميكانيك ورنر هيسنبرغ هذا - المسمى أحياناً ، بسبب الشكل الرياضي الذي يتخذه ، « ميكانيك المصفوفات » - يبدو مجرد شكلانية ترفض كل صورة للعالم الميكروفيزيائي ، ولكن من شأنه الاعلام عن كل الظواهر القابلة للرصد على المستوى الذري بواسطة الحسابات الجبرية البسيطة . ورغم أن أ . شروندجر قد استطاع منذ سنة 1926 ان يبين ان شكلانية الميكانيك الكانتية يمكن أن تعتبر كنقل جبري بسيط للشكلانية التي ينتهي إليها الميكانيك التومجي ، ظل هذان الشكلان الجديدان للفيزياء التصفيرية (الميكروفيزياء) تحركهما تيارات متعارضة ، تشبه التيارات التي حركت في الماضي الذريين من جهة والطاقويين من جهة أخرى : وكان الميكانيك التومجي يحاول الحصول على تطور للظواهرات الميكروفيزيائية في اطار القضاء والزمان ، الذي يقدم صورة واضحة ومفهومة لشداعي الموجات والجسيمات ، في حين اعتبر الميكانيك الكانتية هذه الاهتمامات عبثية ، فأراد أن يكتفي ببناء شكلانية تستطيع تقديم التنبؤ بالظواهرات القابلة للرصد والتحقق ، بدقة .

ان هذا التيار الأخير للأفكار هو الذي أدى الى التفسير الاحتمالي للفيزياء الكانتية ، التي

طورها بصورة رئيسية ن . بوهر وو . هيسنبرغ وم . بورن M. Born وو . بولي وب . آ . ديراك (مع دقائق تختلف قليلاً باختلاف المؤلفين ، خاصة فيما يخص ن . بوهر) . في هذا التأويل ، لم يعد يوجد في الفيزياء الكانتية ، إلا قوانين الاحتمال ، الاحتمال « الخالص » ، الخالي من أية أولية غائية كامنة ومجهولة . ان موجة الميكانيك التوموجي ليست على الاطلاق حقيقة : إنها ليست الا مجرد حل لمعادلة ذات مشتقات جزئية من معادلة الموجات ذات النمط الكلاسيكي . وهو حل يعتبر الآداة الرياضية المناسبة لتصوير احتمالية نتيجة بعض القياسات . ويرتدي الجسم هو أيضاً مظهراً طيفياً : فلم يعد له لا موضوعة دائمة في الفضاء ، ولا قيمة في كل لحظة من لحظات طاقته وكمية حركته ، وهو موجود عموماً في حالة الكمون في كل منطقة ممتدة في الفضاء ، وهو يوزع إحصائياً بين عدة حالات من الحركة . ويمكن للتجربة ان تسمح تماماً بموضوعة الجسم ، أو اعطاء قيمة لكميته الحركية ، انما دائماً بصورة خاطفة ، وليس اطلاقاً بنفس اللحظة : وهذا ما تعبر عنه بلغة الرياضيات علاقات هيسنبرغ حول اللايقين . ولترجمة المظاهر الجسيمية والتوموجية ، المتميزة بوضوح ، في حالة الضوء ، بالمفعول الكهربائي الضوئي من جهة ، وبالتداخلات من جهة أخرى ، وفي حالة الالكترونات بالمسارات المرئية في غرف ولسون ، من جهة ، والانشطار بواسطة البلورات من جهة اخرى ، ادخل ن . بوهر مفهوم « الاستكمالية » : ان الجسم والموجة هما مظهران متكاملان للواقع ، لواقع يستعصي على كل وصف أكثر وضوحاً .

وهناك تفسير آخر للميكانيك التوموجي أقرب من الياحيات التي ولدته ، وأكثر ملاصقة بالمفاهيم المعتادة عند الفيزيائيين ، رسمه سنة 1926-1927 مؤلف هذا الفصل . ولكن هذا التفسير اصطدم يومئذ بصعوبات رياضية خطيرة ، فاستغنى عنه ، وربما كانت ساعته لم تكن بعد ، ونحن سوف نتكلم عنه فيما بعد .

لماذا أصبح التفسير الاحتمالي ، رغم القليل الذي يقدمه من الارضاء لرغبتنا الفيزيية في الفهم ، منذ ثلاثين سنة تقريباً ، مقبولاً لدى شبه كلية الفيزيائيين (إذا وضعت جانباً الاستثناءات المشككة من پلانك وانشتين وشرودنجر) ؟ لا شك أن هذا التفسير ينسجم مع الميول الوضعية لبعض منهم ، وأيضاً لأنه يعبر عن نفسه بشكلانية متماسكة جداً تستعين بحسابات رياضية أنيقة (خوارزمية) وخاصة انه يستطيع الاجابة على كل الاسئلة التي يمكن أن يطرحها التنبؤ بالظواهرات القابلة للرصد ، دون أن يستعين بأية فرضية تحكيمية مهما كانت . هذا الميكانيك الكانتية الذي لا يريد - كي يتجنب كل صورة ذات ميول واقعية - أن يوصف بأنه ميكانيك توموجي ، قد عرف لحظة بلغ فيها الأوج ، إلا أنه اليوم يعطي دلائل على تراجعه . وهذا ما سوف نتفحصه في القسم الأخير من هذا العرض .

سرّ الجزئيات في الميكروفيزياء - حتى سنة 1930 تقريباً ظل عدد الجزئيات التي تظهر على صعيد الميكروفيزياء محدوداً نوعاً ما . فالالكترون ، وهو وحدة كهربائية سلبية خفيفة جداً ومتحركة جداً ، والبروتون وهو وحدة كهربائية ايجابية أثقل وأقل حركة والفوتون حيية من الطاقة تدخل في بنية كل الاشعاعات وتلعب دوراً يختلف نوعاً ما عن السابقين ، تلك هي العناصر الأساسية التي

تدخل في بنية مختلف أشكال المادة والطاقة ، وخط التماس بين المادة والطاقة قد أزيل نوعاً ما بفضل المبدأ النسبي المتعلق بجمودية الطاقة .

إن تطور الفيزياء النووية المنبثق عن المكتشفات المثيرة والأساسية التي قام بها هنري بيكيريل Becquerel وبيير وماري كوري Curie حول النشاط الإشعاعي الطبيعي (1896 - 1898) ، والممتد بفضل الانجازات الأولى في مجال التنقلات الاصطناعية (رذرفورد ، 1919) ، واكتشاف النظائر (ج . ج . طومسون ، آستون Aston) ، قد جذب انتباه الفيزيائيين حول قلب الذرة المتكون من « نواة » مشحونة ايجابياً ومفر كل كمية البناء الذري تقريباً . وكان المعلوم أن هذه النواة لها بنية معقدة ، وأنها كانت ذات استعداد للانحطاط أو التفكك أما بصورة عفوية أو تحت صدمات عنيفة خارجية ، ولكن في البداية بدا من الطبيعي الافتراض أن مكونات النواة تتألف من بروتونات (أوليات) والكترونات ، وهي الجسيمات الوحيدة الأولية المادية التي كانت معروفة في تلك الحقبة .

وبإتداء من سنة 1930 تغيرت هذه الوضعية بسرعة بعد التثبت من وجود جزئيات جديدة كانت غير معروفة حتى ذلك الوقت . أن تحقيق « مدفعية » للهدف الجسيمي ، في المختبرات ، والذي من شأنه إحداث تنقلات نووية عن طريق الصدمة ، ودراسة الأشعة الكونية الآتية من الفضاء الكواكبي ، يمكنها أيضاً أن تسبب بمثل هذه الانتقالات التي أتاحت التعرف على وجود النيوترون (أو الترون) وهو جزئية حيادية كهربائياً كتلتها تقارب البروتون ، وعلى وجود الالكترون الايجابي أو بوزيتون وهو جزئية غير مستقرة قصيرة العمر ، تعادل كتلتها كتلة الالكترون العادي أو النوغاتون ؛ وعرف أن المزدوج نوغاتون - بوزيتون من شأنه أن يبطل نفسه أي أن يتعدم فيولد فرزاً من الفوتون ، وهذه الظاهرة تشكل اخراجاً للمادة عن مادتها وبالعكس قد يزول الإشعاع فيظهر المزدوج بوزيتون - نوغاتون وهذا ما يشكل تحويل الإشعاع إلى المادة . ولكن ليس هذا كل شيء . أن دراسة الإشعاع المستمر β للأجسام المشعة حمل المنظرين ، من أجل الحفاظ على مبدأ حفظ الطاقة الذي لم يكن قائماً في هذه الظاهرة ، حملهم على تصور وجود جسيم حيادي خفيف للغاية أسموه « نيوترينو » ؛ هذا الجسيم يصدر مع الإشعاع β المستمر ، ولما كان يستعصي عملياً على الكشف ، فإن الطاقة التي يحملها تبدو وكأنها قد زالت . فضلاً عن ذلك وفي سنة 1935 لم يتردد الفيزيائي الياباني يوكاوا ، بعد أن انطلق من فرضيات نظرية جريئة ، بإعلان وجود محتمل لجزئيات أخرى أيضاً غير معروفة ، كتلتها تعتبر قريبة تقريباً من حوالي 200 مرة كتلة الالكترون ، وتكون وسطاً بين كتلة الالكترون وكتلة البروتون ولهذا سرعان ما أطلق عليها اسم « ميزون » . وبعد ذلك بقليل تم التعرف على جزئية جديدة في الإشعاع الكوني تعرف اليوم باسم « ميزون μ » وهو يبدو متجاوباً تماماً مع توقعات يوكاوا . أن هذه الاكتشافات كلها أدت بسرعة إلى تجديد كامل لنظريات الفيزياء النووية . وأصدر هيسنبرغ ، بعد اكتشاف النيوترون بقليل الفرضية القائلة بأن النواة تتشكل من بروتونات ومن نيوترونات ، وأن النوغاتون والبوزيتون الصادرة عند الانحطاط النووي ، ليس لها وجود سابق في بنية النواة بل هي تتولد عند الانحطاط بتحول النيوترون إلى بروتون أو العكس . إن هذه النظرية الجديدة ، بدت في الحال مفيدة للغاية ، وأتاحت تفسير

عدد ضخم من الأحداث في الفيزياء النووية : ويمكن اعتبارها اليوم كأحد الأسس الأكثر صلابة في فيزياء النواة ومع ذلك ان طبيعة القوى ذات مدى العمل القصير جداً ، والمستقلة بشكل واسع عن الشحنات الكهربائية ، والتي توجد بين البروتون والنيوترون في النواة ، وتؤمن استقرار المجموع ، هذه الطبيعة بقيت غامضة . وتأكدت تحليلات بوكاوا ، باكتشاف لاحق للميزونات ، وأوحت بتفسير لها مفاده : كما ان الفوتونات تتحد ضمن الحقل الكهرومغناطيسي ، فإن الميزونات تجتمع في حقل « ميزوني » يتوافق مع قوى جامدة ذات مدى قصير جداً ، وهذه القوى هي التي توحد وتجمع مكونات النواة . هذه النظرية « الميزونية » حول القوى النووية بعثت آمالاً كبيرة ومهدت الطريق لأعمال ضخمة : ورغم بعض النجالات ، استطيع القول أنها لم تعط حتى هذه الساعة كل ما كان يؤمل منها . فقد نمت العودة منذ بعض السنوات إلى نماذج من النوى تتوافق مع صور عادية نوعاً ما (نموذج نقطة السائل ، وفرضية الطبقات النووية ، الخ) ، أعطت نتائج مفيدة نوعاً ما إلا أنها قلما يمكن ان نعتبر نهائية .

في حين كانت فيزياء النواة تتقدم بسرعة من الناحية التجريبية وببطء أكبر وبصعوبة أشد من الناحية النظرية ، كانت الفيزياء النظرية الكانتية تتخذ شكلاً يزداد تجريداً ويزداد بعداً عن الالهامات الأولية المستمدة من الميكانيك التأملي . وهكذا تكون ما يسمى اليوم « بالنظرية الكانتية للحقول » ، والمعتبرة من قبل العديد من المنظرين كشكل أكمل في الوقت الحاضر للفيزياء الكانتية . وهذه النظرية ان احتفظت ومددت التفسير الاحتمالي والوضعي للميكانيك الكانتية ، ومفهوم الاستكمالية ، تبدو وكأنها شكلانية أنيقة ذات مظهر دقيق ينيح تصوير مات وخصائص الجزيئات والحقول وتفاعلاتها المتبادلة ، بدون أية صورة دقيقة ومحددة . فهي لا تعطينا أية إشارة حول كينونة الجسم ولا حول بنيته ، وتكتفي بالنظر إلى عدد الجسيمات في كل نوع ، وتغيرها ، أو بصورة أدق انها تعطي احتمالات تغيراتها . ان النظرية الكانتية حول الحقول أدت - كما سنرى - إلى توقعات صحيحة ، فهي تبدي تامساً كبيراً . وحتى أولئك الذين يظنون انها لا تعطينا صورة كاملة حقاً عن الحقائق الميكروفيزيائية ، يتوجب عليهم الاعتراف بأنها تمثل بصدق بعض مظاهر الحقيقة . فقد نجحت نجاحاً كبيراً ، منذ عدد من السنوات (1946-1948) . في هذا الوقت توصل و . ي . لامب Lamb و . ش . رودرفورد Rutherford ، عن طريق أساليب راديو كهربائية ، إلى اثبات وجود بنيات دقيقة في طيف الهيدروجين ، لا تتطابق تماماً مع توقعات النظريات السابقة الأكثر كمالاً : وأتاح تفسير اقترحه ه . بيت (H. Bethe) وطوره أنصار نظرية الحقول (طوموناغا ، شوينغر ، فينمان) العشور ، تماماً على النتيجة التجريبية ثم ، تأكيداً على هذا النجاح الجميل ، جاءت طرق مماثلة توضح القيمة غير العادية للعزم المغناطيسي في الالكترتون وتوضح خصائص البوزيترونوم . ويمكن ، فضلاً عن ذلك ، التثبت من أن تحليلات النظرية الكانتية حول الحقول ، من أجل تفسير هذه الظواهر ، يمكن أن توحى بأنه تحت مستوى الواقع الميكروفيزيائي ، حيث تبدو الجسيمات ، يوجد مستوى للواقع أعمق وأكثر خفاءً أيضاً ، مستوى تكون فيه جسيمات المستوى الميكروفيزيائي دائماً في تفاعل تستطيع معه في بعض الملاحظات أن تغوص فيه أو تخرج منه . وهكذا نملأ هذه الحقيقة العميقة ، التي سماها د . بوهم

Bohm فيما بعد « المستوى فوق الكانتي » ، ما نسميه نحن الفراغ الذي يتصف إذاً بصفات فيزيائية ، مما يبدو وكأنه من مستلزمات وجود الظاهرات ، التي نسميها النظرية الكانتيّة المتعلقة بالحقول باسم « استقطاب الفراغ » [أو تكثيفه] .

إن النجاح المحقق ، منذ عشر سنوات ، بفضل النظرية الكانتيّة حول الحقول ، قد جذب نحوها بشدة انتباه المنظرين الشبان ، ولكن ، يجب الاعتراف ، بأن هذه النجاحات لم تستمر طويلاً ، وعرفت نظرية الحقول هي أيضاً بعض الهزائم . وقد أدت ، بشكل خاص ، إلى العثور - بالنسبة إلى الطاقة الخاصة بالجزئيات - على قيم غير محدودة ، غير مقبولة حتماً . ولتجنب هذه الصعوبة الأساسية ، استعملت حيل متنوعة (خاصة « وسائل القطع » التي تجنب اختلاف بعض المتكاملات) ؛ ولكن هذه الوسائل كيفة ، ولا يوجد هنا في النهاية أي شيء مرض أو كاف . إن الصعوبة التي واجهت هنا الفيزياء الكانتيّة الحالية ، تبدو وكأنها ذات طبيعة مميزة خاصة : إن نظرية الحقول ، الكانتيّة ، بعد قبولها وجهة نظر التفسير الاحتمالي ، امتنعت « مسبقاً » عن النظر في موضوعة الجسيمات ، وعن اعطائها بنية واسعة ، من أجل تحديد مفاهيم ماثلة لمفهوم « شعاع الالكترون » ، في النظرية الكلاسيكية التي قال بها لورنتز . شخصياً وبأي شكل نحن نعتقد وجوب العودة إلى فكرة الموضوعة وإلى فكرة البنية الممتدة للجسيمات .

ومما يلح أيضاً في انشاء نظرية بنية الجسيمات وخصائصها ، هو الانتشار المدهش للعديد من أنماط الجسيمات المكتشفة حديثاً ، منذ عقدين من الزمن . فبعد « الميزون » كما جاء الميزون « نو الكتلة الأكبر بقليل ، ثم الميزونات K الأثقل أيضاً . وتم أيضاً اكتشاف جزئيات ذات كتل أعلى من كتلة البروتون ، ولهذا السبب سميت باسم « هيرون » hyperon . تتحول هذه الجزئيات إلى بعضها البعض ، وبأشكال مختلفة غالباً . وإذا فالأشياء في هذا المجال معقدة إلى أقصى حد لم يكن أحد يتصوره منذ ثلاثين عاماً . في الوقت الحاضر ، لا توجد آية نظرية تفسر واقعة أن الجسيمات المعروفة حالياً هي كثيرة العدد وانها ذات كتل لها قيم ضئيلة جداً ومحددة تماماً ، أو تعطي صورة عن التحولات المتعددة التي يمكن ان تعثر بها .

أمام كل هذه الصعوبات التفسيرية ، يبدو لنا أنه ، بعكس ما يمكن أن يظن بعض الأشخاص السيئي الاطلاع ، تجتاز الفيزياء النظرية ، في هذه اللحظة حقبة من الركود الكبير . فحتى أكثر المتحمسين لمناصرة اتجاهها الحاضر يعترفون بهذا . وقد كتب أحد هؤلاء المتحمسين وهو ر. أوبنهايمر Oppenheimer ، يقول : « من المؤكد أننا نعيش في عشية ثورة خطيرة جداً ، وربما كانت بطولية جداً ، وعلى كل حال ، مجهولة الكنه تعجز عن فهمها تفسيراتنا ونظرياتنا في الفيزياء » .

إن مثل هذا الوضع يجيز التساؤل : أليس التأويل الشكلي والاحصائي الخالص ، المفروض منذ ثلاثين سنة على الميكانيك التوموجي هو الذي يتسبب - وذلك من جراء استبعاد لكل صورة محدّدة ومفهومة - بكل خيبات أملنا ؟ ولهذا ، ومنذ 1952 ، وبالاتصال مع أعمال د. بوهم وج. ب. فيجيه (J. P. Vigiér) ، حاولت أن أعود إلى أفكاره في سنة 1926-1927 ، التي حاولت أن تمثل

الجسيمات بشكل محدد ، كعارضٍ أو حدثٍ موضوعٍ مندمجٍ في بنية موجةٍ منتشرة ذات صفة فيزيائية ، وبالتالي الحصول على تصور واضح ومفهوم لتداعي الموجات والجسيمات المتشابهة نوعاً ما مع الصور التي كانت تستعملها الفيزياء القديمة . في أعمال ذات قيمة عالية ومتطورة حاول د. بوهم وج . ب . فيجيه اكمال هذه الصورة مفترضين ان الفراغ هو المقر لوسط مخبأ ذي بنية إعصارية تحكمه الفوضى العنيفة : إن الجسيمات والموجات التي تتضمن هذه الجسيمات تشبه بنيات فوية تظهر عند المستوى الميكروفيزيائي ، فوق سطح الجوهر العميق . ان هذه المحاولات مملوءة بالوعود وتستحق المتابعة .

وكما يقول ر . اوينهيمر ، ان التحولات القريبة في الفيزياء الكنتية لا يمكن توقعها ، ولكن يبدو ان هذه الفيزياء تقترب من مرحلة جديدة كلها أزمة وعدم استقرار . وهكذا توجد بشائر تشير إلى أنها ، بالتأكيد ، في عتبة أحد هذه « الانتقالات المفاجئة » التي تبرز ، في تاريخ الأفكار ، كما في تاريخ الأنواع ، مراحل التطور .

النسبية

I - النسبية الضيقة

1 - النسبية قبل 1905

نُظِمَ الاسناد المميز ، وتحول غاليلسي Galilee في الحركة الكلاسيكية - حتى سنة 1905 ، ظل علم الميكانيك يستلهم المبادئ النيوتنية طارحاً وجود فضاء مطلق « مستقل عن الاجسام الموجودة فيه » ، ووجود زمن كوني شامل « يجري بانسجام وبوتيرة واحدة » .
إن فكرة الزمن الكوني ، المتشابه بالنسبة إلى كل راصد ، مهما كانت حركته ، هي فكرة بديهية آتية .

إنها تركز على الفكرة الفطرية بأن حركة أي نظام اسناد لا تؤثر على مجرى الأحداث التي تجري داخل هذا النظام . فإذا كانت : (t, x^p) و (t', x'^p) $(p=1, 2, 3)$ تمثلان مدة ووضع نفس الحدث في نظامين من الاسناد متميزين S و S' ، فإن مفهوم الزمن الكوني الشامل يترجم به :

$$x'^p = f^p(t, x^p), t' = t$$

ان مفهوم الفضاء المطلق هو أكثر غموضاً ، ليس فقط في نظر « الحس العام » ، بل في نظر نيوتن بالذات . من المؤكد ان الحركة الكلاسيكية تبقى على نسبية كاملة للحركة .

وبالفعل ، في حال غياب القوى ، يمكن ردّ حركة جسم جامد إلى نظام الاسناد المتكون بفعل جسم آخر ، وهذه العملية هي ، من حيث المبدأ ، تماكسية (ارتدادية) تماماً : إن المعادلات تبقى كما هي مهما كان الجسم المختار كمسند « يمكن القول ان الشيء الواحد مُحَرَّكٌ أو غير مُحَرَّك بحسب اختلاف النظر إلى موقعه » كما يقول ديكارت .

هذه النسبية الجامعة تبدو لأول وهلة وكأنها ترفض فكرة الفضاء المطلق ضمن حركية خالصة . وبالفعل ، طالما يُقتصر على مبادئ الحركة فقط ، لا يمكن تحديد مثل هذا الفضاء بأي نظام اسناد مميز ودره لا يمكن أن يعطي أي وقع أو انعكاس تجريبي .

وعلى كل ، وحتى قبل الديناميك [التحرك] النيوتني ، والادخال الظاهر للقوى ، كان

مفهوم الحركة « الخالصة » محدوداً بمبدأ الجمود . وبموجب هذا المبدأ ، من الممكن دائماً اختيار بعض الانظمة الاسنادية الخاصة : مبادئ الجمود ، وفيها ترسم النقطة المادية « الحرة » خطأ مستقيماً ذا حركة موحدة .

لما كانت الفيزياء لا تستطيع أن تدخل إلا أنظمة جمودية تقريبية ، فلا بد من العودة إلى مفهوم نظام الجمود المثالي ، الذي تكون « كل الحركات الحرة بالنسبة إليه ، مستقيمة وموحدة الشكل » . ان هذه الحالة القصوى ، يمكنها إذا أن تحدد « الفضاء المطلق » الذي يبدو بالتالي ، وبحسب تعريف أولر Euler ، وكأنه الضامن لصلاح مبدأ الجمود . وحتى قبل نيوتن ، تسرب ، بشكل غامض يومئذ ، مفهوم نظام الاسناد المثالي الذي من شأنه التمكين من التثبيت الكامل من مبدأ الجمود .

وان وُجد مثل هذا النظام ، فبالامكان التعريف بعدد غير محدود من الانظمة الأخرى ، التي تتمتع بنفس الخصوصية : ويكون لها ، بالنسبة إلى الأول ، حركة انتقال موحدة الشكل ، وكل نقطة مادية حرة ، محركة بحركة مستقيمة وموحدة بالنسبة إلى واحد من هذه الأنظمة ، تكون حركة من نفس النمط بالنسبة إلى الأخريات .

وانطلاقاً من نظام جمود : $S(x, y, z, t)$ نستخلص عدداً غير محدود من الانظمة المشابهة : $S'(x', y', z', t')$ ، وذلك بتفسير حركتها المستقيمة والموحدة بالنسبة إلى S :

$$(1) \quad x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t$$
مع اختيار الاتجاه \vec{v} الذي للحركة الموحدة كمحور (ox) .

في الميكانيك الكلاسيكي ، يحدد هذا التحول ، المسمى تحول غاليلي ، طبقة من أنظمة الاسناد المميزة ، وفيها يصلح مبدأ الجمود . هذا التحول يدخل مبدأ « نسبية ضيقة » : « نسبية » لأن عدداً غير محدد من الانظمة المرتبطة بـ (1) تتساوى من أجل وصف قوانين الحركة ؛ و « ضيقة » لأن هذا التساوي مقصور على الانظمة الغاليلية فقط . وبشكل خاص ، بفعل هذا التغير في الاحداثيات ، بالامكان دائماً اختيار نظام اسناد (S) فيه يكون مطلق جسم محرك بحركة مستقيمة وموحدة بالنسبة إلى نظام آخر من الاسناد (S') في حالة سكون . وهكذا توجد نسبية في السرعة .

مبدأ النسبية في الديناميك الكلاسيكي - ان مبدأ الجمود وحده يتيح ، في الميكانيك الكلاسيكي تحديد وتعريف ضيق نسبية الحركة . ومع ذلك ، وبعد الاندماج في الديناميك ، يمكن لنص مبدأ الجمود ونسبية ضيقة ان يجدا كل مدهما .

ان الديناميك النيوتني ، المرتكز على تحديد القوة : $\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$ ، يربط التسارعات \vec{a} بظهور قوى حقيقية أو وهمية (وهذه الأخيرة ، كفوى الجمود ، تترجم حركة نظام الاسناد) . إن هذا القانون الاسامي « لا يتغير » (ويحفظ بالشكل نفسه) في تحول غاليلي (1) : ان مطلق تجربة في الميكانيك لا يمكنها أبداً اثبات الحركة المستقيمة والموحدة لنظام اسناد ، اذا كانت هذه الحركة محددة بـ (1) .

وبهذا الشأن ، نصل إلى قانون (4) هو واحد في كل هذه الانظمة ، وإذا لا يمكنه أن يستخدم من أجل التفريق بينها . وتكون هذه الانظمة متعادلة : والانتقال من احدها إلى الآخر ، لا يمكنه ان يظهر أبداً من خلال تبدي قوة ما أوزوالها . ان مبدأ الجمود هو حالة خاصة في هذا التكافؤ : وإذا لم توجد أية قوة في أحد هذه الانظمة الاسنادية ، فالحال يكون كذلك في كل أنظمة الاسناد المميزة المرتبطة بالنظام الأول من خلال (1) .

وهكذا تترجم نسبة السرعة ، التي تعبر عن نفسها بصلاحيه مبدأ الجمود في التحولات (1) ، بعدم تغير (4) في نفس هذه التحولات . وإذا فهي [أي النسبية] « ضيقة » ومحصورة بأنظمة الاسناد الغاليلية .

مبدأ النسبية في الكهرديناميكية الكلاسيكية - وإذا كان الميكانيك الكلاسيكي ، قبل 1905 ، محكوماً بمبدأ نسبية « ضيقة » . ولكن يبدو تماماً ان مطلق نسبة حتى ولو ضيقة لم يكن يمكنها أن تمتد إلى ميادين الفيزياء الأخرى وخاصة إلى الكهرمغناطيسية المكسويلية [نسبة إلى مكسويل] التي اتسعت وانتشرت تماماً .

ويبدو من المؤكد ، في هذا الشأن ، ان مطلق موجة كهرمغناطيسية موحدة الخواص ، ضمن نظام اسنادي خاص لا تستطيع ان تحتفظ بهذه « التوحيدية في الخواص » في نظام اسنادي جديد تحركه السرعة (8) بالنسبة إلى الأول .

وسنبدأ للقوانين الكلاسيكية حول تركيب السرعات ، تصبح سرعة الضوء c في النظام الأول (8) في النظام الثاني ، ضمن هذه الشروط ، قد تتيح تجربة بصرية اظهاراً « تبين الخواص » الذي تسببه حركة مستقيمة وموحدة ، وبالتالي ، اثبات وجوده .

في النظرية المكسويلية ، تنتج هذه الامكانية النظرية عن كون معادلات مكسويل (بعكس المعادلات الأساسية في الديناميك) ليست ثابتة في تحول غاليلي . ان تغير نظام الإسناد الغاليلي ، ان لم يثبت خصائص ديناميكية جديدة ، فمن شأنه إذا أن يظهر الخصائص الكهرمغناطيسية التي تسببها الحركة المستقيمة والمرحّدة .

وطيلة ما يقارب مائة سنة ، جهد المجربون عبثاً في اظهار مثل هذه الخصائص . والحركة التي من شأنها اعمال سرعة (8) ضخمة إلى حد ما هي حركة الأرض حول الشمس : فهي تدخل حداً : $\beta = v/c = 30/300\,000 = 10^{-4}$ أثبت التقاطع المحتمل « هواء أثير » يتشتر على سطح فلك البروج ، ويكشف عن وجود نظام اسناد مطلق .

إلا أن غالبية التجارب المستعملة (قياس زمن الاجتياز ، ذهاباً وإياباً ، الذي تحققه الاشعة الضوئية ، مفعول دوبلر Doppler ، الزيفان) لا يمكن استخدامها ، لأنها تبعد ، بالدرجة الأولى ، كل مفعول لهواء أثيري محتمل ؛ ان التجارب الوحيدة التي تظهر مفاعيل من الدرجة الأولى ، ترتبط باجذاب الضوء من قبل الأجسام الشفافة . ان العديد من المحاولات من هذا النوع ، قد وقعت منذ أراغو Arago (1818) حتى زيeman Zeemann (1914) ، ولكن النتائج كانت سلبية دائماً ،

رغم الدقة المتزايدة (مجلد 3) . ان هذا الحدث يمكن أن يحدث ما يسره اما بالتمسك بمبادئ الحركة الكلاسيكية (قانون تركيب السرعات) ، واما ، مع فريزل ، باعتماد فرضية الانسياب الجزئي للأثير ، واما باعتماد فرضية معادلة ، مستخلصة من النظرية « الميكرومكوية » التي قال بها لورنتز (مجلد 3) .

ان هذه النتائج لا يمكنها أن تُعنى إلا بمفاعيل المرتبة الأولى (في حالة $\beta = v/c$)؛ وانه ، عند هذا التقريب فقط ، يمكن لفرضية الانسياب الجزئي أن تلغي بصورة منهجية كل مفعول لهواء الأثير . والمفاعيل من المرتبة الثانية (في حالة : $\beta^2 = v^2/c^2$) ، يجب أن يكون لها تأثير حاسم . الا ان التجارب المتنوعة ، والمتزايدة الوضوح باستمرار ، والمعمولة منذ ميكلسون (1881) Michelson ، لالتقاط هذه المفاعيل ، أعطت نتائج سلبية تماماً (مجلد 3) .

التفسير الكشفي عند لورنتز - بوانكاريه - من أجل محاولة تفسير هذه النتائج التي تعبر عن نسبية غامضة وضيقة في مجال لا يفترض أن تظهر فيه ، افترض فيتزجيرالد Fitzgerald وهـ . لورنتز ان كل الأجسام المدفوعة بحركة مستقيمة وموحدة يجب أن تتلقى تقلصاً مقداره $\sqrt{1 - \beta^2}$ باتجاه حركتها (مجلد 3) .

ان التجارب المُجرّة ، لتحقيق هذا المفعول بدت ، مرة أخرى أيضاً ، سلبية تماماً ، فافترض ان مفاعيل التقلص أو التقبض كانت بذاتها مغطاة بتزايد الكتلة الساكنة (m_0) مع الحركة . في هذه الشروط أدى التغير المتزامن في الاطوال وفي الكتل : $m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$; $l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}$; وبصورة حكمية ، إلى استحالة التقاط تأثير مطلق حركة مستقيمة موحدة على مطلق ظاهرة ابصارية . وأخيراً ، وهنا آخر أثر ساقط منهاوي يحبس الأثير في عدم عملي ، يتوجب أيضاً تعريف قياس للزمن خاص بكل نظام اسناد غاليلي .

وهكذا بحسب رأي لورنتز ورأي بوانكاريه أيضاً تصبح المطابقة :

$$(2) \quad x' = (x - vt) / \sqrt{1 - \beta^2}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \left(t - \frac{\beta x}{c} \right) / \sqrt{1 - \beta^2}$$

صالحة بين معطيات الفضاء والزمان المقاسة ضمن نظامين يتحركان بحركة مستقيمة موحدة . وهي تمثل أيضاً الشروط الضرورية والكافية ، حتى لا تستطيع تجربة ابصارية ، مهما كانت ، أن تُظهر الحركة المستقيمة والموحدة في مطلق نظام اسناد .

إلى هذه النتائج يجب ان نضيف أيضاً نتيجة التغير في الكتلة المرموز اليها بـ $m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$ التي يُفترض بانها - حسب زمن لسورنتز - تحمل كتلة « ذات منشأ كهرومغناطيسي » ، باعتبار الكتلة الميكانيكية باقية على حالها .

وعندما دلت تجارب غويه Guye ولافانشي Lavanchy (1916) ان كامل كتلة الكترون ما تتغير بحسب هذا القانون ، استنتج من ذلك ، ان هذه الكتلة كانت بكاملها من منشأ كهرومغناطيسي . وبدأ إذاً أنه من الممكن تعريف « شعاع » من الالكترون . وهذا الأخير يصبح ، وفقاً لنظرية لورنتز ، جسيماً مزوداً ببنية ، ويصاب ، تبعاً للحركة ، بتغيرات في الشكل مطاطية .

الكهرمغناطيسية ومبدأ النسبية الضيقة - ان الشروط (2) التي ذكرها و . فواغت (W. Voigt) (1887) والمعروفة باسم تحويل لورنتز (الفيزيائي الذي جهد في توضيح حقل تطبيقها ، ونشأتها الفيزيائية) تحل محل تحويل غاليلي ، لتفسير الرابط بين نظامين للاسناد في حركة مستقيمة وموحدة . في الميكانيك السابق على النسبية ، أصبحت أنظمة الجمود هكذا « أنظمة لورنتزية » .

يُبين هـ . بوانكاريه ان معادلات مكسويل تبقى لا متغيرة عندما تخضع لتحويل لورنتز . وانطلاقاً من هذا ، إذا ارتبط نظامان متحركان حركة مستقيمة وموحدة بتحويل من هذا النمط ، فإن أية تجربة ابصارية أو كهرمغناطيسية لا تستطيع التقاط حركتهما النسبية . وإذا بقيم تحويل لورنتز (مسبقاً) مبدأ نسبية ضيقة في مجال الإبصار .

إن تحويل لورنتز يعادل تماماً تحويل غاليلي ، في سرعات أقل بكثير من سرعة الضوء . ولكن يبدو من الضروري الاختيار بين مبدأ نسبية ضيقة صالحة في الإبصار المكسويلي (مع تحرك لورنتز) ومبدأ مماثل صالح في ميكانيك نيوتني (مع تحويل غاليلي) .

إن النتائج السلبية المحققة في هذا المجال أوداك ، تحت على التمسك - في مجمل الفيزياء والميكانيك - بمبدأ وحيد من النسبية الضيقة . من هذا التدافع بين علم الابصار وعلم الديناميك ، في مطلع القرن العشرين ، خرج علم البصريات منتصراً : ان على الديناميك ان يتكيف مع نموذج النظرية الكهرمغناطيسية ، لكي يصبح ، هو أيضاً ، لا متغيراً في تحويل لورنتز . هذا الاستنتاج ليس فيه ما يثير الدهشة : ان الميكانيك ليس فرعاً من الفيزياء التي هي في جوهرها مميزة . بالعكس ، ان دقة تجارب الابصار يجب أن تضع بقوة معادلات مكسويل ، وبالتالي أن تحدد الصفة العميقة السلبية في التجارب المتعلقة بهواء الأثير . والنتيجة الملازمة لهاتين النتيجةين هي بالضبط تحويل لورنتز .

تحويل لورنتز ومبدأ النسبية - في سنة 1905 ، وقبل الاصلاح الذي قام به انشتين ، بدت الأسس التحليلية لـ « النسبية » الضيقة ، في الاجمال ، موضوعة ومقررة : فهي تكمن في تحويل لورنتز الذي يؤمن التعادل بين كل الأنظمة ذات الحركة المستقيمة والموحدة والمرتبطة بهذا التحويل . الا أن أسس هذه « النسبية » وأسس تعبيرها التحليلي قد بقيت مجهولة .

إن فرضية التقلص احتفظت ، في نظر لورنتز وبوانكاريه ، بصفة مصطنعة . فهي قد شكلت ، بحسب تعبير م . بورن ، نوعاً من « الالتواء الملائم » ، الذي بفضل قام التعادل بين كل الأوصاف للورنتزية .

ان هذه الفرضية ، كما هي موجودة في أعمال فيتزجيرالد الأولى ، تعبر عن مظهر القوى الحقيقية التي يحدثها الأثير في الاجسام المتحركة : تشويه مطلق ، مستقل عن نظام الاسناد المستعمل . ومن جهته حاول لورنتز حتى ان يربط هذه المفاعيل بتفاعلات جزيئية .

إن مقدمات لورنتز تبدو غريبة تماماً عن فكرة النسبية الأساسية . ان فرضية الفضاء الكهرمغناطيسي الساكن اطلاقاً ، ومفهوم الزمن الكوني ، يبقيان ، بالنسبة إلى لورنتز ، قريبين جداً من المفاهيم النيوتنية . ان الاحداثيات المحلية والزمن المحلي تبقى متميزة في فكره عن الاحداثيات والزمن الحقيقية .

كان هنري بوانكاريه أقرب إلى مفاهيم انشتين وقد استشعر بالصعوبة العميقة في تعريف التزامن المطلق بل انه أدرك الصعوبات العملية التي تطرحها الاستحالة الفعلية للإشارات الآنية . ومع ذلك لم يجرؤ على استبعاد امكانية وجود هذه الاشارات ، أي وجود - ولو نظرياً - على الأقل - تزامن مطلق وعن بعد .

ولهذا ، وعلى الرغم من الشكلائية النسبية التي قرّرها فواغت (Voigt) ، ولورنتز وبوانكاريه فإنّ الاصلاح الذي جاء به انشتين يبقى أساسياً وضرورياً .

كتب انشتين بنفسه يقول : « ان نظرية النسبية الضيقة كانت ناضجة سنة 1905 » . . . « ويفسّر فيقول : الشيء الجديد هو اكتشاف أن مدى تحويل لورنتز يتجاوز ارتباطه بمعادلات مكسويل وهو يدخل طبيعة الفضاء والزمن . والشيء الجديد ، هو ان لا متغيرة لورنتز هي شرط عام صالح في كل نظرية فيزيائية وهذا الاستنتاج ذو أهمية كبيرة لأنني اكتشفت في السابق ان نظرية مكسويل لا تفسّر البنية الميكروسكوبية للاشعاع ، وإذا فهي لا تستطيع ان تطمح لأن تكون صالحة كونياً » .

2 - مبدأ النسبية الضيقة (انشتين 1905)

ألبرت انشتين وفيزياء بدايات القرن العشرين : تبدو سنة 1905 وكأنها السنة الحاسمة التي استطاعت فيها الفيزياء اجتياز هذا المنعطف الصعب الذي سوف يقودها نحو تطورها الحاضر . ان تركيبات مكسويل وانتقادات ماش (Mach) وهيرتز وبوانكاريه تحمل نواة « النسبية » ؛ ان نجاحات النظرية الذرية ، والميكانيك الاحصائي ، سوف تفرض عودة ضرورية إلى فكرة استمرارية الاشعاع . ان مفاهيم الطاقة النووية ، وتكاثف عناصر المادة ، والتكر لنظرية الحتمية الكلاسيكية ، وتوسيع علم الكون (كوسمولوجيا) النيوتنية ، كل ذلك كان كامناً في الاصلاحات الأساسية التي جرت سنة 1905 والتي سوف يحركها ألبرت انشتين ثم نيلز بوهر .

ولد ألبرت انشتين في 14 آذار سنة 1879 في مدينة أولم Ulm . وبعد ذلك بسنة أقامت عائلته في ميونخ وكان هرمن انشتين ، والد ألبرت ، يدير مصنعاً صغيراً للكيمياء الكهربائية . وهو من منشأ إسرائيلي ولكن عائلة انشتين قلما احتفظت بمعتقدات موروثه عن الجدد الا باستثناء نوع من الانسنة المقرونة بتسامح كبير ، ومحبة للأدب المثالي والموسيقى . تعلم ألبرت انشتين في المدرسة الابتدائية الكاثوليكية ثم في ثانوية ميونخ . وقبل في مدرسة البوليتكنيك الفدرالية في زوريخ ، فتلّمذ انشتين على يد هـ . منكوسكي Minkowski الذي قام فيما بعد بتقرير الشكلائية ذات الأبعاد الأربعة والتي تتوافق مع نظرية تلميذه .

في مطلع القرن دخل انشتين بعد أوضاع تعليمية هزيلة إلى مكتب براءات الاختراعات التقنية في برن . كرس أوقات فراغه للبحوث النظرية التي أدت فيما بعد إلى نشر أول دراسة له سنة 1905 حول النسبية الضيقة . وفي نفس هذه السنة صدرت له دراسة ثانية جمعت بحوثه حول الحركة البرونية . وقد أثبتت الملاحظات المحققة حول هذا الموضوع (جـ . بيران J. Perrin) توقعات انشتين بصورة كاملة . ومن أجل هذه المذكورة - وليس من أجل التأملات الموهلة في تجديداتها حول المذكورة الأولى - منح سنة 1921 جائزة نوبل في الفيزياء وأخيراً ودائماً في نفس السنة صدرت له مذكرة ثالثة (حول وجهة نظر كشفية تتعلق بأحداث الضوء وتغيره) تدعم نتائج بلانك بنظرية جديدة

للفوتون ، وهي جسيمات ضوئية ذات طاقة $h\nu$ سوف يؤدي ادخالها إلى تجديد نظرية الحقل الكهرمغناطيسي ، وإلى بحث الميكانيك التَمَوّجي المستقبلي .

وعين استاذاً خاصاً (يتقاضى أجرته من الطلاب مباشرة) في برن ، ثم استاذاً في جامعة زوريخ (1909) ثم في سنة 1910 اسندت إليه كرسي الفيزياء النظرية في جامعة براغ ، ثم في سنة 1912 عاد إلى المدرسة البوليتكنية الفدرالية في زوريخ ، كصاحب كرسي . وفي آخر 1913 قبل المركز الذي قدمته له جامعة برلين . في تلك الحقبة كان ماكس بلانك و . نرنست N. Nernst يعلمان في هذه الجامعة ؛ وفيما بعد ساعد ماكس فون لوف $Von laue$ و . ج . فرانك ، و . ج . هرتز Hertz ، و . ل . ميتنر Meitner ، و . شروندجر على شهرة انشتين . وحوالي سنة 1930 كانت المجموعة البرلينية في الفيزياء هي أبرز مجموعة في العالم كله .

وحوالي سنة 1913 كان انشتين ما يزال يهتم بتعميم الحركات المتسارعة في نظريته حول النسبية الضيقة . ومن جهة أخرى حاول ان يحدّد تأثير الجاذبية على الضوء وانتشاره ، وكان يعتقد ان المسألتين لا تخلوان من رابط بينهما وبالفعل ان هذا الرابط يكمن في بنية غير اقليدية للفضاء - الزمن . وكان انشتين قد تعمق في الجيومتریات من هذا النمط والتي كان ليفي سيفيتا قد طورها وفي سنة 1919 بدت النظرية الجديدة ثابتة ، ثم مع برنامج الذكرى السنوية الأولى للمهدنة قدمت الصحف البريطانية هذا العنوان : « ثورة في العلم ؛ أفكار نيوتن تنهار » .

وبدأت النسبية العامة في نظر الاختصاص وكأنها تقديم عجيب في نوع هذه النظرية ، أو كنجاح شبه مدهش . لا شك ان النسبية الضيقة « كانت موجودة في الجو » سنة 1905 ؛ وبالعكس ان النسبية العامة لم تكن لتشر الا بفضل الجهد الوحيد لفكر بمثل هذه الجرأة والاصالة . وظل انشتين حتى وفاته مراظياً على تطوير تركيبة توحيدية يمكنها بواسطة نفس الرسمه الجيومترية تفسير الحقول المتنوعة ، والسمات المختلفة في المادة .

ومرعان ما اجتذبت نظريات انشتين انتباه الجمهور .

وقد اجتهد البعض في تبين النتائج التي وصفت بأنها مدهشة ، وذلك بتأويلات غالباً ما كانت مضلّة ومشوّهة : مسافر لانجفان Langevin الذي يجتاز الفضاء ما بين الكواكب بسرعة الضوء مع بقاءه في شباب دائم ، فكرة الزمن الخيالي ، الزمن الذي تمكن السباحة عبره وفكرة فضاء ملتوكما الكرة الفارغة ، كل هذا كان جزءاً من نوع من الخيالات الشعبية أوحث بها قصص وِلز Wells الخيالية ، كما « النسبية » .

وانتشرت نظرية انشتين بين الفيزيائيين بسرعة وتولى شرحها اخصائيون عظام أمثال م . فون لوف في ألمانيا و . س . ادينجتون Eddington في انكلترا و . لانجفان في فرنسا . ومهما ركزنا فأننا لن نصل إلى ذكر ما يجب ذكره حول ما يعود إلى النسبية الضيقة في نشأة الميكانيك التَمَوّجي . كان لويس دي بروغلي متشبعاً بعمق بالأفكار النسبية فكان يعرفها بشكل مدهش . والمعادلة الأساسية : $\lambda = h/mv$ والتي تربط بالجسيم ذي الكتلة m والسرعة v ، طول موجة λ تستتج مباشرة من الحركية النسبية المطبقة على الموجات وعلى الجسيمات . ويمكن اعتبار هذه

العلاقة كثنيت غير متوقع للنسبية الضيقة .

ان وقع نظريات انشتين في التيار الفلسفي المعاصر لم يكن أقل ضخامة . لقد تأثر انشتين بكانت Kant وهيم Hume وسبينوزا Spinoza ولكنه تأثر بشكل مباشر جداً بمبادئ الميكانيكي مائش التي قادت خطاه . وعلى كل ، لم يستطع انشتين أن يترك « عقيدة فلسفية » بل ترك نوعاً من المناخ الايماني بقيمة العلم في وعيه العميق . وخلافاته مع بوهر تجدد جذورها الاعمق في مطلب لا يتنمي إلى مذهب محدد بل يبقى مينافيزيكياً (ما وراثياً) بشكل عميق .

وترك انشتين المانيا سنة 1933 ، عقب وصول هتلر إلى السلطة ، فأقام في الولايات المتحدة في « معهد الدراسة المتقدمة » في مدينة برنستون Princeton . وعرف شيخوخة منعزلة ، معزولة تماماً عن التيارات الحديثة في الفيزياء بعد هيروشيمما التي هي نتيجة أخرى للنسبية الضيقة . وبقي على اعتقاده بالتوحيدية ، وبالتسامح العميق الذي لم يتزعزع . وعند وفاته التي حصلت في 18 نيسان 1955 شعر كل الذين عرفوه بخسارة شخصية لموته .

كان انشتين أكثر من فيزيائي وأكثر من معلم ، اذ كان تجسيدا سلم من القيم ، كما كان يطلب للعلم عقلانية شاملة ، وكان يمثل الايمان بالعظمة الانسانية في أعلى درجاتها وفي أكثرها تواضعاً .

المسلّمة الأساسية عند انشتين - كان الديناميك الكلاسيكي يرتكز على مبدأين قابلين للانفصال تماماً :

1 - يوجد تعادل بين كل أنظمة الجمود (بحركة مستقيمة وموحدة انطلاقاً من واحد منها) من أجل وصف قوانين الحركة .

2 - ان أنظمة الجمود هي أنظمة غاليلية . ويتبع عنها القاعدة الكلاسيكية حول تركيب السرعات الذي يسمح بالتقرير بأن سرعة الضوء تختلف في نظامين غاليليين مختلفين .

وفضل انشتين يقوم على انه بين أنّ هاتين المسلمتين ليستا مرتبطتين . ان الصيغ التي جاء بها لورنتز تعبر عن انفصالهما فعلاً . وانتقادات انشتين حول مفهوم التوافق ، سوف تحدث انفصلاً في القانون .

ووسّع انشتين المسلّمة الأولى فأشتملها - كما نقضي بذلك التجربة - الميكانيك والكهرمغناطيسية وكل الفيزياء (حوليات الفيزياء مجلد 17، 1905 ؛ النشاط الاشعاعي والالكترونيك ، مجلد 4، 1907) .

I - يوجد تعادل بين كل أنظمة الجمود (بحركة مستقيمة وموحدة) ليس فقط في الديناميك بل في كل الفيزياء .

ومن جهة أخرى ، أحل محلّ المسلمة 2 المبدأ التالي :

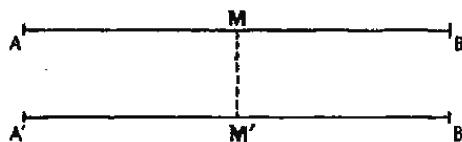
II - في الفراغ ينتشر الضوء بشكل موحد الخواص . وسرعته هي ثابتة كونية c . وإذا فسرعة الضوء تبقى واحدة في كل أنظمة الاسناد الغاليلية . وتتقضي هذه النتيجة قانوناً نسبياً حول

تركيب السرعات مختلفاً عن القانون الكلاسيكي . انها تجر بالتالي صيغ لورنتز (2) ومنها تنبثق مبادئ علم الحركة الجديد .

مفهوم التوافق من بعيد - إن ثبات سرعة الضوء في كل الأنظمة اللورنتزية ينتج عن قانون التحويل (2) . والاصالة العميقة في نظرية انشتين تقوم على ربط هذا القانون بنقد للمفهوم الكلاسيكي حول التوافق من بعيد ، ثم استخلاص هذا القانون من تحليل لمفاهيم الفضاء والزمان . حتى سنة 1905 ، بدا مفهوم التوافق من بعيد وكأنه يقدم حساً استلهامياً أكيداً . وحاول انشتين أن يوضح شروط تحديد فعلي لمثل هذا التوافق . أن التوافق لا يمكن أن يتحقق الا بتبادل اشارات ، والغريب انها اشارات كهرومغناطيسية أكثر سرعة وأكثر أهلية لتفادي كل خطأ .

إذا كان هناك حدثان A و B متواقتان ، لو كان الراصد M واقفاً في وسط A و B ، يتلقى بنفس الوقت الإشارات الضوئية الصادرة عن A و B .

هذا الاصطلاح لا يفترض شيئاً حول خصائص الضوء وبشكل خاص حول توافق أو تزامن المسارين AM و BM . ونتيج مثل هذه الخاصية تعريف التوافق المطلق . ولكنها تفترض هي بذاتها وجود أسلوب مسبق لقياس الزمن . ان معيار التوافق النسبي هو إذاً اصطلاح يبقى قائماً وصالحاً في نظام الجمود S المرتبط بـ A و B ، لأن الحركة المطلقة في S بالنسبة إلى الاثير غير قابلة للرصد .



ولما كان التوافق النسبي محدداً في S ، فإنه يبقى محفوظاً في نظام آخر جمودي S' . والمثل الكلاسيكي الذي تصوره انشتين هو مثل السكة الحديدية AB التي يتحرك فوقها قطار A'B' بسرعة v . نفترض M' نقطة وجود القطار التي تتوافق مع النقطة M التي هي منتصف AB .

عندما يتلقى M بأن واحد الاشارات المنبثقة عن A و B ، يسجل الراصد M' المتنقل عندها باتجاه B بالعكس من ذلك وبصورة أبكر الاشارات الصادرة عن B أكثر من الاشارات الصادرة عن A . وهكذا يحكم بأن الاشارات الصادرة عن A وعن B ليست متوافقة لأن تطابق وصولها إلى المنتصف M' من A' و B' ، بالنسبة إليه ، هو أيضاً ، يعتبر المعيار الوحيد للتوافق . إن الحدثين المتواقين بالنسبة إلى M ، ليسا متواقين بالنسبة إلى M' . ولا يمكن الاعتراض على هذا الاستنتاج بأن تجربة M هي خاصة مميزة ، باعتبار M في حالة سكون في حين أن M' ليست ساكنة : ولا توجد أي تجربة في الفيزياء تستطيع أن تثبت الحركة المطلقة لـ M و M' . ان كل راصد يستطيع إذاً ، وبحق ، التأكيد على أن نظامه الخاص هو في حالة سكون وان الآخر يتحرك .

ولا يوجد توافق مطلق ، أي توافق تحققنا من كونه كذلك ، في أنظمة جمودية مختلفة .

انتقاد مفهومى الفضاء والزمان ، تقلص الابعاد وتمدد الفترات - يمكن ان نبين ان استحالة تعريف التوافق من بعيد تجر وراءها تقلص الأطوال وتمديد الفترات وهما أمران أدخلهما لورنتز تجريبياً .

لو كانت t_0 هي طول ، مقام ضمن نظامه الخاص ، معيار مرتبط بالنظام S' فطول نفس هذا المعيار إذا قاسه راصد من النظام S ، يكون $t_0 < t' = t_0 \sqrt{1-\beta^2}$. ويجد الراصد S ان قاعدة S' قصيرة جداً . وهذا الاستنتاج متعاكس بشكل أساسي . فلو كان t_0 هو الطول المقاس عند S ، لمعيار مرتبط بنظام الجمود هذا ، فان الراصد عند S' يعطي لهذه القاعدة طولاً يساوي : $t_0 < t' = t_0 \sqrt{1-\beta^2}$ ، ويستنتج ان معيار طول S قصير جداً . هذه التعاكسية في الارصاد المحققة ضمن النظامين S و S' هي أساسية . فاذا كانت الاستنتاجات غير متعاكسة ، لا يمكن اكتشاف - من خلال هذا اللاتناظر - الحركة المستقيمة الموحدة « الصحيحة » لأحد نظامي الاسناد . أما التعاكس فيؤدى إلى النسبية في التجارب المتبادلة التي يقوم بها الراصدان .

إن فرضية التقلص تحتفظ في نظر لورنتز وفي نظريه بوانكاريه بصفة اصطلاحية . وبمعنى « النسبية الضيقة » لا ينتج التقلص في الأطوال عن قوى ذاتية خاصة . الا انه لا يشكل « تمويهاً » إذ يجب عندها معارضته « بواقع » متميز . ولكن كل الرصد الغاليليين متساوون والطول هو بصورة أساسية « نسبي » يتعلق بنظام الاسناد المعتمد . وتنتج هذه النسبية مباشرة عن استحالة مستعصية في تعريف توافق من بعد أي تعريف السرعة المتناهية لكل إشارة مستخدمة وذلك من أجل الثبت من هذه السرعة .

ويشكل مماثل أدى تحويل لورنتز إلى تغير مدة نفس الحدث مقدراً عبر نظامين من الجمود متمايزين S و S' .

إذا كانت t_0 هي مدة حدث مقاس ضمن نظامه الخاص S' فإن القياس الجاري من قبل راصد من نظام آخر S يؤدي إلى النتيجة التالية : $t_0 < t' = t_0 / \sqrt{1-\beta^2}$. وبالعكس إذا كانت t_0 هي مدة حدث مرتبط بـ S ومقاس ضمن هذا النظام ، فإن الراصد من S' يقيس كما يلي $t_0 < t' = t_0 / \sqrt{1-\beta^2}$. ان كل الظاهرات تتباطأ إذا بالنسبة إلى رصاد غير الرصاد في النظام الخاص . وهذا يعني القول بأن الحركة تحدث تمداً في المهل ولكن هذا الامتتاج هو عكسي . ومطلق راصد يحكم دائماً بأن معيار الزمن عند زميله اللورنزي يتأخر .

وبالغاء مفهوم الزمن المطلق ، أعطت « النسبية » الضيقة أدواراً مماثلة لاحداثيات الفضاء وللمتغير المؤقت . واستحدثت فضاء - زمناً ، وحده الإطار المؤهل لوصف الظاهرات الفيزيائية . وأتاحت مصطلحات هـ . مينكوسكي (H. Minkowski) (Raum und Zeit.... 10, 1909. p. 104) توضيح الشكلية الصالحة في هذا الفضاء الرباعي الابعاد .

الحركة النسبية - ان النسبية الضيقة هي في الأساس حركية ، ويمكن استخلاص مبدأ عام عن تركيب السرعات ، من خلال قانون تحويل لورنتز العام ، قانون يوفق بين التعابير عن نفس

الحدث الفضائي الزمني في نظامين اسناديين S و S' ، الحدث الذي تتخذ سرعته w ، اتجاهها ما بالنسبة إلى المحاور .

وإذا تعلق الأمر بسرعات متوازية ($v'_y = v'_z = 0 ; v'_x = v$) ، نستخلص السرعة الحاصلة v ، لنقطة ما P ، بالنسبة لـ S' من السرعة النسبية β لـ P ، بالنسبة إلى S ، كما نستخلص من سرعة الاندفاع w بواسطة المعادلة : $v = (v' + w) / (1 + v' \frac{w}{c^2})$ ، التي تتيح التعرف مباشرة على نتيجة تجربة فيزو Fizeau . باعتبار $\beta = c/m$ وباعتبار w سرعة اندفاع تيار الماء :

$$v \simeq \left(\frac{c}{n} + w \right) \left(1 - \frac{w}{nc} \right) \simeq \frac{c}{n} + w \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

وهكذا نعر من جديد على صيغة اندفاع فرينل ($\alpha = 1 - 1/n^2$) بواسطة تأملات حركية خالصة . من المعروف ان تجربة فيزو الحاسمة (مجلد 3) تنتج هنا ، مباشرة ، بدون أية فرضية ميكانيكية ، عن تأملات حركية خالصة . وهكذا ، لا تشكل هذه التجربة راثراً بين فرضيات اندفاع جزئي للأثير ، أو الأثير الجامد ، لأن هذه التجربة ترتبط بحركية يستبعد منها الأثير .

ومن جهة أخرى ، ان هذه التجربة لا تمثل ، كما هو سائد في الاعتقاد ولمدة طويلة ، تجربة أساسية من شأنها الفصل بين النظرية التذبذبية والنظرية الجسيمية . هذه التجربة أقرت بواسطة فرضيات جسيمية ، وهي تمثل تعبيراً مماثلاً ، في حالة انتشار موجات مسطحة .

والواقع ان الرأى التجريبي الحقيقي يفترض تعداداً دقيقاً وشاملاً لكل المسلمات المقبولة . ولكن مثل هذا التعداد هو بالتأكيد مستحيل . لقد افترض فرينل ولورنتز ، ضمناً ، ان الحركية الكلاسيكية كانت قابلة للتطبيق . وكان على « النسبية الضيقة » أن تبين ان الأمر يتعلق بمسألة تحكمية اعتباطية ، وهو أمر مقبول غالباً ، وزيادة على ذلك بمسألة مجهولة ، وهذا أمر خطير دائماً .

نضيف أن قانون تركيب السرعات - المطبق على انتشار ضوء غير وحيد اللون ، في وسط ذي مؤشر $n(v)$ متغير بتغير عرض الموجة - يتبع التنبؤ بسرعة حاصلية متغيرة بفعل مفعول نشئتي $\frac{1}{v} \frac{dn}{dv}$. ان هذا التنبؤ الجديد للنسبية الضيقة قد أثبت من قبل زيمان (1914-1915) (Zeeman) .

مفارقات « النسبية الضيقة » - تحت اسم « مفارقات » نقصد اما استنتاجات النسبية الضيقة التي تبدو وكأنها تصدم الحس السليم واما ، على العكس ، تجارب فكرية تبدو متناقضة مع مبادئ النسبية الضيقة . الأولى هي مفارقات تناقض الاستنتاجات الشائعة ، والثانية مفارقات تغاير « النسبية » بالذات . وفي الواقع أن أيأ من هذه المزاعم ليس له أساس .

ان الاعتراضات على مفهوم التوافق من بعيد ، قد فُهمت بصعوبة . مثال ذلك ، تطبيق مبدأ التقلص على جامد ذي أبعاد كبيرة ، سائر بسرعة تقارب (c) . ان تقلص الأطوال ، الذي نصت عليه معادلات لورنتز ، ينطبق من حيث المبدأ على جامد مثالي مرتبط بشكل متصلب بنظام لورنتزي . ولكن بالمعنى الحصري ، يتعارض مفهوم الجامد الصلب مع مبادئ النسبية الضيقة .

مثل هذا الجامد يتضمن ، في هذا الشأن ، عدداً قليلاً من درجات الحرية ، وأي انحراف في إحدى نقاطه ينتشر آنياً عبر الجامد كله ، وهو أمر يتعارض مع فكرة السرعة المتناهية . ان مبدأ التجربة بالذات هو خيالي وهمي تماماً بمعنى النسبية الضيقة .

وبصورة مماثلة ، هناك مفارقات أخرى ضد « النسبية » الضيقة ، تخالف من بعض الأوجه القواعد الأساسية لهذه النظرية ، وإذا فهي لا يمكنها أن تستخدم كمجال تطبيق . وأشهر هذه المفارقات ، هي المفارقة التي يطلق عليها غالباً اسم « مفارقة مسافر لانجفان » (Langevin) . توأمان، I_1 و I_2 مرتبطان في الأصل بالنظام S ينفصلان ، يقوم I_1 برحلة تقوده في النهاية إلى نظام الاستناد الأساسي . نلاحظ عندئذ ان المسافر I_1 قد تقدم به السن أقل مما حصل لـ I_2 وذلك بمقدار ما تكون سرعته أكبر . ان المقارنة بين I_1 و I_2 تتيح بالتالي اكتشاف نظام الاستناد الذي بقي جامداً غير متحرك ، وهذا أمر مغاير لمبدأ النسبية . ولكن من الواضح ان هذه « المفارقة » ، تُعجل مبدأ التسارع ، في الانطلاق وعند الوصول ، واثناء حدوث تغير محتمل في الاتجاه . ومهما كانت هذه التسارعات ، فتدخلها المحتوم يربط هذه المسألة بمبادئ النسبية العامة لا بمبادئ النسبية الضيقة .

وبالتعريف ، تهدف مسألة النسبية الضيقة إلى مقارنة التقدير « الفضائي - الزمني » ، لحدث واحد في نظامين لورنتزيين ، مما يستبعد مقارنة حدثين ضمن نظام اسناد واحد يتخذ عندها دوراً معيَّراً .

وأخيراً ان النسبية الضيقة لا تهتم الا بنقل فعلي لمادة أو لطاقة .

وفي حالة انتشار الموجات ، تمثل سرعة المجموعة (V) انتشار طاقة ، وهي بحالها هذا تبقى أدنى من سرعة الضوء . وبالعكس ان سرعة شكل الموجات $u = c^2/V$ ، كمية متناسقة مع سرعة ما ، لا تتميز بأي نقل للمادة والطاقة . وإذا فهي يمكن أن تكون أعلى من (c) .

ان كل انتشار حقيقي له سرعة أقل من (c) . ولهذا ان مجرى الاحداث المرتبط بنظام خاص ، لا يمكن قلبه ووضع ضمن أي نظام اسناد آخر . وهذه الميزة ، ترتبط بشكل خاص ، بمفهوم السببية : إذا كانت هناك ظاهرتان A و B بحيث ان $A \rightarrow B$ (تتبع) B ، يوجد انتشار سرعة أقل من (c) من (A) نحو (B) : وترتيب الحدثين B, A يكون عندئذ واحداً في كل أنظمة الاسناد .

بناء حركية (ديناميك) نسبية . تعادل « الكمية - الطاقة » : كانت النظرية الكهرومغناطيسية عند مكسويل نسبية ، قبل أن تصل النسبية إلى ما هي عليه . فقد أتاح ادخال الحث الكهربائي (فاراداي) وتيار الانتقال (ماكسويل) الاعلان عن المعادلات الكهرومغناطيسية في شكلانية تغييرية مشاركة خالصة .

بالمقابل ، كان من الضروري تقديم إعادة تدوين للقانون الأساسي في الديناميك : هذا القانون - الثابت في تحويل غاليلي - كان عليه أن يتقبل لا يتغير (invariance) لورنتز .

وعندها يتوجب إجراء التحويل التالي :

$$f = m_0 \frac{dv}{dt} \rightarrow F = m_0 \frac{du}{d\tau} \quad (u = \frac{dx}{d\tau})$$

حيث m_0 هي كتلة الجزيء في حالة السكون ، و u سرعة كون محدّدة تبعاً للزمن τ الخاص بكلّ نظام لورنزي (زمن تحدّده ساعة ثابتة في هذا النظام) .

إلاّ أننا نعرف أنّ الطاقة الحركية $T_0 = 1/2 m_0 v^2$ ، تُحدّد في الديناميك النيوتني بواسطة :

$$f \cdot \vec{v} = dT_0/dt$$

وفي الديناميك النسبي ، نحصل بشكل مماثل على $\vec{F} \cdot \vec{v} = dT/dt$ حين تكون :

$$T = (m - m_0) c^2$$

ان الكتلة $m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$ ، كتلة الجزيء المتحرك ، تتيح تحديد طاقة للجزيء

$W = mc^2 = T + m_0 c^2$ تختلف عن الطاقة التحركية T بطاقة تساوي عند السكون $W_0 = m_0 c^2$.

وتمثل W_0 الطاقة الداخلية في الجزيء ؛ وهي تعادل كتلة ساكنة : $m_0 = W_0/c^2$.

ان التكافؤ بين الكتلة والطاقة (انشتين ، 1905) يسمى في أغلب الأحيان « مبدأ جمود

الطاقة » . وسنبدأ لهذا المبدأ ، لا يوجد أبداً ، كما في الديناميك النيوتني ، حفظاً للكتلة متميزاً

عن حفظ الطاقة . ان تغير الكتلة : $\Delta m = m - m_0 = T/c^2$ ، يساوي حاصل قسمة الطاقة المنيئة على (c^2) (مثلاً إذا كان الأمر يتعلق بجزيء حر يث اشعاعاً فهو يساوي الحاصل : $h\nu/c^2$) .

فإذا تعلّق الأمر بنظام مؤلّف من كذا (n) جزيء يمكن بالتالي تحديد طاقة مجموعها Ω تطابق

كتلة : $M_0 = \Omega/c^2$ من النظام الكامل .

إنّ مطلق نظام مستقرّ مؤلّف من جزيئات مترابطة ، النوية مثلاً ، يتميّز بـ : $\Sigma_n(m_0)_n - M_0 > 0$

أو $M_0 > \Sigma_n(m_0)_n$. وبما أنّ كتلة النوية (النكليون) الساكنة هي أصغر من مجموع الكتل التي

تكوّنها ، يجب أن نعطي هذه النوية طاقة إيجابية كي نحلّلها إلى عناصرها . بالمقابل ، إنّ نظاماً

غير مستقرّ من الجزيئات المترابطة (نوية غير ساكنة) يكون فيه فارق الكتلة سلبياً :

$\Delta m = \Sigma_n(m_0)_n - M_0 < 0$ أو $M_0 > \Sigma_n(m_0)_n$. بما أنّ كتلة النوية غير الساكنة هي أكبر من كتلة

مكوناتها ، يمكن لها أن تتحلّل إلى عناصرها محرّرة الطاقة .

وهكذا يمكن ، عن طريق تأملات أولية في الديناميك النسبي ، اكتشاف نقصان الكتلة

(Δm) الذي من شأنه إطلاق طاقات ضخمة : $\Delta E = c^2 \Delta m$. ذلك هو مبدأ إنتاج الطاقة الذرية .

نذكر ان أنظمة الجزيئات الحرة تؤدي أيضاً إلى : $\Delta m = \Sigma_n(m_0)_n - M_0 < 0$ أو $M_0 > \Sigma_n(m_0)_n$.

وهكذا يمكننا بالتالي ، انطلاقاً من اشعاع طاقة مقداره $\Delta E = h\nu$ ، الحصول على أزواج : الكترون

سليبي - الكترون ايجابي ذات الطاقة الشاملة $(2m_0 c^2)$ ، وبالعكس ، يمكن أن نلاحظ الغاء للأزواج

مع حصول اشعاع . ان هذه الظواهرات في استحداث المادة وإزالتها ، يلحظ وجودها في تفاعلية

الطاقة الكبرى ، خاصة في الاشعاع الكوني (أنظر الفصل 10 من هذا القسم) .

3 - مدى النسبية الضيقة وتطبيقاتها :

تجاوز التطبيقات العملية للنسبية الضيقة بكثير من التجارب الهادفة مباشرة إلى التثبت من صلاحية اسمها . ان النسبية الضيقة هي فعلاً حركية تتدخل نتائجها ، كتناجح الميكانيك الكلاسيكي ، في غالبية الظواهر والنظريات التي لها علاقة بها . ان خلاصات قسم واسع من الفيزياء الكلاسيكية أو الكنتية (الكمية) ، تشكل في الواقع ، اثباتات غير مباشرة للنسبية الضيقة .

في الوقت الحاضر ، يتوجب ان تكون كل نظرية فيزيائية « نسبية » ، ان هي استخدمت الانتشار السريعة والطاقت الكبرى .

نذكر ، كمثال ، النظرية الكنتية والنسبوية المتعلقة بالالكترون ، والتي وضعها ديراك Dirac سنة 1929 . ان تطبيق شكلانية نسبوية يؤدي إلى التنبؤ بعزم مغنطيسي خاص (سبين Spin = دوامة) في الالكترون . في السابق ، وعلى المستوى الكلاسيكي ، كان يمكن لمثل هذه الشكلانية أن تؤدي إلى التنبؤ بتيار انتقالي . في نظرية الالكترون ، توجب هذه الشكلانية تحديد « سبين » تكون سماتها مثبتة بالعديد من التجارب حول توزيع ازخام الأطياف ذات البنيات الدقيقة . ان اثباتات نظرية ديراك Dirac وبوجه أعم ، ان اثباتات الكهرديناميك الكنتي النسبوي ، تمثل إذاً اثباتات غير مباشرة للنسبية الضيقة .

وبالاقصار على التحقيقات الأكثر قرباً وآنية ، من الممكن التوجه إلى ثلاثة أنماط من الظواهر . تباطؤ الرقاصات ، تغير الكتلة مع تغير السرعة ، التكافؤ بين الكتلة والطاقة .

تباطؤ الرقاصات - الحياة المتوسطة للميزون [الميزون Meson : دقيقة مكهربة ذات كتلة وسط بين الالكترون والبروتون] - تتبع مقارنة رقاصات نظام خاص (زمن $\Delta\tau$) ونظام لورنتزي منطلق (زمن Δt لنفس الحدث) توقع تباطؤ نسبوي خاص للمدد :

$$\Delta t = \Delta\tau / \sqrt{1 - \beta^2} > \Delta\tau.$$

ان مبادئ الحركية النسبوية ، إذا طبقت على انتشار موجة مسطحة وحيدة اللون ، تؤدي إلى :

1 - تغير تواتر (تردد) الاضعاغ الصادر عن منبع ما ، إذا وجدت مطلق حركة نسبوية بين المصدر والراصد : انه الاثر المسمى مفعول دوبلر Doppler ; $v = v_0 \sqrt{1 - \beta^2} / (1 - \beta \cos \theta)$;

2 - تغير في اتجاه الانتشار : انها ظاهرة الزّيغ .

ان هذا المفعول أو ذلك يتضمن مُقدّماً كلاسيكياً (حدود ذات β) ومُقدّماً نسبوياً خاصاً (حدود ذات β^2) يعزى إلى تباطؤ الرقاصات .

هذا الحد من المرتبة الثانية ، المغشى عادة بالمفعول الكلاسيكي من المرتبة الأولى ، قد ثبت بالتجارب التي قام بها ايف Ives وستيلويل Stillwell (1941) ، تجارب مقنعة بمقدار ما يسعى القائمون بها إلى اكتشاف المُقدّمات من المرتبة الثانية المطابقة لقانون غير نسبوي .

ان هذه التجارب تعطي مكاناً لمفاعيل دوبلر Doppler التي يحدثها الاشعاع الصادر عن الحزمات الوحيدة الحركة من الهيدروجين المؤيّن [المكثف الشحنة الكهربائية] . ان السرعات المستخدمة هي من مرتبة : $\beta \neq 0.007$.

ان الميزونات (μ) المكتشفة في الاشعاع الكوني تنفّت بعد حياة وسط (τ) ، ويمكن قياس هذه الحياة سناً لكليشاه متوفرة بفضل غرفة ويسلون Wilson أو بواسطة عدادات ، ويتعلق الامر عندها بحياة وسط τ_0 في حالة سكون : توقف الميزون عند أول الكترون لها ناتج عن التفكك . هذه الحياة الوسط (قبل التفكك) ، تتوافق ، في الفضاء الاعلى ، مع « مسار حر وسط » : $L = \tau_0 \gamma = 600 \text{ m}$ في حين تكون الميزون متحركة بسرعة قريبة من سرعة الضوء .

والحال ان المسارات الحرة الوسط المقاسة في الفضاء الاعلى تتوافق لعدة كيلومترات ، أي بخلاف حياة وسط τ أعلى بكثير . وهكذا نحقق التوقعات النسبوية : $\tau = \tau_0 / \sqrt{1 - \beta^2} > \tau_0$ في سرعات من أمثال $\beta = 0.99$.

مدارات الجزيئات في حقل كهرومغناطيسي - ان مطلق جزئيء مشحون متحرك في حقل كهربائي وفي حقل مغناطيسي متعامدين فيما بينهما ومتعامدين على خط تنقل هذا الجزئيء ، بصاب بالانحراف . واذا كان الامر يتعلق بجزيئات متماثلة (نفس العلاقة e/m بين الشحنة والكتلة) تتحرك بسرعات مختلفة ، نلاحظ ، سناً لقوانين الكهروديناميك الكلاسيكي ، توزيعاً لنقاط وطأة هذه الجزيئات وفقاً لحظ بارابولي [قطع مكافئ] . وبالمقابل ، وسناً للميكانيك النسبوي ، تتوزع هذه الجزيئات وفقاً لمنحنى من الدرجة الرابعة .

ان هذه التجربة - التي حققها غويه (Guye) ولافانشي (Lavanchy) (1916) ، ثم أكملها ناكن (Nacken) (1935) - قد أثبتت توقعات الديناميك النسبوي .

وقد أبرزت هذه النتيجة بفضل طرق تسريع الجزيئات الثقيلة (بروتون ، دوتون) وألدر (نيرون) ، وجزيئات الفا α) ، بواسطة حقل مغناطيسي . وفي « السيكلوترون » (cyclotron) ، يعطي الحقل المغناطيسي المسرع المتعامد على السرعات ، لهذه الجزيئات مداراً دائرياً . واذا لم تتزايد الكميات بتزايد السرعة ، فإن التواتر $\nu = \omega/2\pi = eH/2\pi m_0 c$ يكون ثابتاً والشعاع (r) في الدائرة المرسومة هكذا ($r = N/\omega$) يزداد مع تزايد السرعة ، أي عند كل دفعة جديدة في الحقل المسرع . تجاه السرعات المرتفعة المحققة هكذا تزداد الكتلة ($m = m_0/\sqrt{1 - \beta^2}$) وبالتالي يتناقص التواتر . ويتبع عن ذلك أثر كايح تمكن ازالته ، بدوزنة الحقل المسرع (الحاث) على حركة الجزئيء المحثوث . ويتغير في السنكروترون زخم الحقل بشكل يمكنه من التعاطم عندما تتزايد الكتلة (m) . وفي المدوزن الدائري للالكترونات (synchrocyclotrons) ، بالعكس ، يكون تواتر الحقل المسرع هو المدوزن من أجل انقاصه عندما تتزايد الكتلة (m) (انظر الفصل 10) .

القوانين النسبوية في الصدمة المطاطية - نستحصل على قوانين الصدمة المطاطية بين الجزيئات سناً للبيانات الطاقوية الموضوعة قبل الصدمة وبعدها . وسناً للميكانيك الكلاسيكي يحدث الاصطدام المطاطي بين جزئيء نازل وجزئيء من نفس الكتلة ، كان في الاصل في حالة

السكون ، مدارات تشكل فيما بينها زاوية قائمة . وبالعكس ينص الديناميك النسبي على مقاطع ذات زاوية حادة .

والتوقعات كانت منسجمة تماماً ومتوافقة مع التجربة . مثلاً ان اصطدام الكترون نازل ($\beta = 0,968$) بالكترون ساكن يعطي ، في غرفة ويسلون زاوية ذات انفراج قدره 60 درجة (ف . جوليت) . وضمن نفس الشروط ، تؤدي سرعة نازلة ، بحيث تكون ($\beta = 0,93$) إلى تكوين زاوية ذات انفراج قدره 72 درجة (ل . لوبرنس - رنغيه Leprince-Ringuet) . وتم الحصول على نتائج مماثلة بفضل الصدمات بين ميزونات ذات طاقة كبرى .

وهناك حالة خاصة تتناول الصدمة النسبية وتتعلق بالتلاحم بين فوتون ذي طاقة $h\nu$ والكترون ذي كتلة m_0 ، كان في الأصل جامداً : ان تواتر الفوتون المبعوث بعد الصدمة ، يتغير عندئذ ، ويرتبط بزاوية البث . ويساوي تغييره طول موجة كومتون Compton ($\Delta\lambda = h/m_0c$) اذا كان البث يتم وفقاً لزاوية قائمة . وهنا أيضاً تتوافق النتائج التجريبية تماماً مع توقعات النسبية الضيقة .

التكافؤ بين الكتلة والطاقة - يشكل تحرير الطاقة المنصوص عليه في بيانات التفاعل النووية البرهان الابرز للدلالة على النسبية الضيقة .

في حالة الانظمة المستقرة ($\Delta m = \Sigma m_0 - M_0 < 0$) سريعاً ما اكتشفت عيوب الكتلة الموافقة للابنية النووية التي تكون فيها طاقة الاتصال مرتفعة جداً بين النويات (النكليونات) .

نذكر مثلاً حالة بسيطة هي حالة الدوترون 2_1D أو نواة الهيدروجين الثقيل التي تساوي كتلتها : ($m_0 = 2,01417$) وذلك في النظام الذي يكون فيه $O = 16$. هذه النواة تتألف من بروتون ($m_p = 1,00757$) ، ومن نيوترون ($m_n = 1,00893$) . أما نقص الكتلة النظري فيساوي :

$$(1,00893 + 1,00757) - 2,01417 = 0,00233 \text{ وحدات كتلة} = 10,0,0387 \cdot 10^{-25} \text{ غ}$$

وهو متفق تماماً مع النتائج التجريبية المحصول عليها بفضل المطيافية الكتلية [المطيافية هي التحليل الطيفي باستخدام آلة المطياف] .

وفي حالة الانظمة غير المستقرة المحصول عليها بعد قذف بعض النوى ببروتونات ونيوترونات سريعة ، نلاحظ عندها تفككاً يمكن أن يقترن بتصاعد ضخم في الطاقة . وانتاج وتطبيقات هذه الطاقة الذرية المشهورة جداً في أكثر الاحيان ، هما اللذان ساهما في توضيح الاصلاح الكبير سنة 1905 أمام أعين الجماهير .

II - النسبية العامة

دونما تأجيل لهذه المفارقة ، يمكن الزعم بأن النسبية الضيقة ليست نظرية فيزيائية . من ناحية انها ليست نظرية تتناول أية ظاهرة خاصة ، ولا هي تقتصر على أن تكون رؤية معينة ، ولكنها تشكل بصورة أساسية حركية ما . انها تشكل بالتالي أساس النظريات الفيزيائية التي سوف تكون حتماً « نسبية » ولكنها تحتفظ بمجالها التفسيري الخاص .

وبالعكس تظهر النسبية العامة دائماً بمظهر مزدوج . فهي من جهة تشكل امتداداً طبيعياً لمبدأ

النسبية الضيقة بحيث تشمل الانظمة المسرعة . ومن جهة أخرى انها تقدم نفسها كنظرية جذرية في حقل الجذب الكوني . من حيث المبدأ يبدو هذان الدوران متباعين تماماً . أما الرابط الذي يربط بينهما فهو مبدأ التكافؤ .

1 - مبدأ النسبية العامة :

حد مبدأ النسبية الضيقة - يعبر مبدأ النسبية الضيقة عن نفسه ، بالتغير المزدوج في قوانين الفيزياء داخلي تحويل لورنتز . وهو يفترض استحالة اكتشاف الحركة المستقيمة والموحدة الشكل في نظام اسنادي ، بواسطة مطلق تجربة .

وعلى كل ، من المؤكد ان هذا المبدأ في النسبية لا يشمل الانظمة المسرعة . ان حركة مثل هذه الانظمة (الدوران ، الحركات المتسارعة بشكل موحد) يمكن دائماً ومن حيث المبدأ اثباتها . ومن التجارب ذات الانماط المحققة بهذا الشأن ، هناك من جهة تجربة فوكولت Foucault في الميكانيك ، وهناك من جهة أخرى تدابير هارس Harress ، وساغناك Sagnac ، وبوغاني Poganny في البصريات .

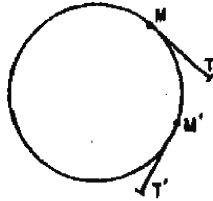
ان تجربة فوكولت حول الرقاص (راجع مجلد 2) تكشف عن دوران سطح الأرجحة التي يحدثها رقاص عامودي ، وهذا الرقاص ينجز دورة مقدارها 360 درجة بخلال 24 ساعة ، اذا كان الرقاص قد وضع عند القطب . وهكذا ، وفي حين يستحيل التثبت من حركة انتقال الارض بالنسبة إلى الأثير ، الا ان دورانها يمكن أن يكتشف بسهولة .

لقد كان ان التجارب التي قام بها هارس ، ساغناك وبوغاني ، تشكل « النظر » البصري لتجربة فوكولت . ان نحن صفنا مرآة عند حوافي صحن ما ، فهناك حزمتان من الضوء صادرتان عن نفس المنبع ، ويفصل بينهما حاجز نصف شفاف ، ويمكنهما ان يجتازا باتجاه معاكس ، وعلى طول الصحن دربين بصريين متساويين ، وان نحن أدركنا الصحن ، نلاحظ بفضل تدابير التداخل مرقاً في ازمة الاجتياز أو القطع .

ومن أجل استكمال مسافات متساوية جيومترياً ، تمضي الحزمتان زمنين مختلفين ، وذلك بحسب ما اذا كانتا تدوران باتجاه دوران الصحن أو بالعكس . هذا الفرق ، $\Delta t = 4 \omega \phi / c^2$ حيث ω تمثل السرعة الزاوية ، ϕ مساحة الصحن ، c سرعة الضوء ، يكون واحداً اذا كان المنبع والمحلل ، أي أداة قياس التداخل ، محمولين فوق الصحن ، أو انهما بالعكس مستقلان (لانجسان) . ولا يتغير هذا الفرق اذا كانت المسافة المقطوعة في الهواء دائماً (ساغناك ، 1914) ، أو في المرشورات الزجاجية (هارس ، 1912) ، أو في انابيب مملوءة بالماء (بوغاني) .

تبدو هذه التجارب وكأنها تبعث امكانية تعريف الحركات المطلقة ، وبصورة خاصة يبدو دوران الأرض وكأنه يستند إلى شكل فراغ ، يعيد من جديد إلى مفهوم الفضاء المطلق . ان النسبية الضيقة ، تبدو هنا فقط وكأنها تؤجل دخولها إلى الفيزياء ، وذلك بالبقاء هذا الدخول في مفهوم الانظمة المسرعة .

قوى الجمود ، وادخال كون غير اقليدي - لقد قدمت ، في دفعات مختلفة ، نظريات « تقريبية » حول الصحن الدائر ، وكانت هذه النظريات تركز على جيومترية منكوسكية (نسبة إلى منكوسكي) . وهذه المحاولات عملت على تبرير النتائج التي حصل عليها هارس ، وساغاناك وبوغاني ، الذين شبهوا كل عنصر في الصحن ، بنظام السند اللورنتزي ، الذي يتطابق معه هذا العنصر بصورة آنية . ولكن هذه النظريات « المحلية » بدت عاجزة مع ذلك عن الوصول إلى وصف دقيق للوضع - مهما كان قريباً . إذ من الصعب فعلاً جمع هذه الأوصاف المتنوعة (المحلية) الاقليدية المتعلقة بكل عنصر في محيط الصحن ضمن وصف شامل اقليدي أيضاً ، من شأنه وصف الصحن بأكمله . كل شيء يجري كما لو ان كل وصف محلي (عند M) كان صالحاً في الفضاء المماس MT للصحن وهو فضاء اقليدي حقاً . ويتم هذا الوصف أيضاً عند M' في فضاء آخر اقليدي مماس $M'T'$. وعلى كل ، التماسك الشامل بين كل هذه التمثيلات الاقليدية المحلية لا يمكن ان يتأمن الا ضمن فضاء منحنٍ مماس لمختلف الفضاءات المسطحة MT و $M'T'$ الخ . (والواقع ، ان المسألة الحقة لا تقوم على ربط مختلف التماسات بواسطة منحنٍ ، بل ربط فضاءات - أزمنة اقليدية متنوعة بواسطة فضاء زمن منحنٍ) .



لقد بين اميل كارتان Cartan بشكل بسيط ان مفاعيل قوة جامدة ، يمكن دائماً ردها على البنية الجيومترية للفضاء - الزمن ، ويرتكز نص مبدأ الجمود على مفهوم الأنظمة الغاليلية المتعادلة في القوة . وبتغيير معنى كلمة « متعادلة » ، من أجل تضمينها فكرة الحركة الموحدة الشكل ذات السرعة c نصل إلى وجوب توسيع مفهوم نظام الجمود . عندها يطبق هذا المفهوم بمعناه الجديد ، على الأنظمة المتسارعة .

وعلى كل يقتضي تغيير معنى كلمة تعادل تغيير الجيومترية . في هذه الجيومترية الموسعة يميز تعادل أو تكافؤ نظامي امساد ، أيضاً أنظمة جمود جديدة . ونقل هذا التكافؤ أو التعادل إلى الفضاء - الزمن المنكوسكي يظهر عندئذٍ « التسارعات » التي تخفيها جيومترية أكثر اتساعاً . وإذا لا توجد حواجز عازلة بين الديناميك والجيومترية إذ ان هذه الأخيرة يمكن أن تمتص الخصائص العائدة إلى الميكانيك .

وهكذا ، يتيح ادخال عالم غير اقليدي توسيع مبدأ النسبية بحيث يشمل الأنظمة المسرعة . كما انه يبرز السمة المحلية الخالصة لهذا التعادل أو التكافؤ بين الأنظمة المسرعة وأنظمة الجمود . وكل شيء يحدث كما لو ان أنظمة الجمود كانت مرتبطة بفضاء غير اقليدي (الذي نعطينا الكروية صورة مؤقتة عنه) وبالتسارعات في الفضاءات المماسية المتنوعة (سطوح مماسة الكروية) . وتشبيه

قوى الجمود (التسارعات) بنية جيومترية يعني الخلط بين قسم من الكرة وبين سطحها المماس . هذا التعادل بين قوى الجمود والبنيات الجيومترية مقصور على منطقة صغيرة مجاورة للنقطة المنظورة .

وهكذا بعد استيعاب مفهوم التسارع ضمن بنية جيومترية ، تعطي التمثيلات غير الأقليدية ، الوسيلة لوضع مبدأ التعادل - أي مبدأ النسبية - بين الأنظمة المسرعة . وتتيح هذه التمثيلات وضع مبدأ النسبية العامة كما تتيح توضيح سمتها المحلية . وهي مع تبريرها لصيغة هذا المبدأ فإنها تحدّد أيضاً حدوده .

2 - مبدأ التعادل أو التكافؤ :

القوى الحقيقية والقوى الوهمية - قال نيوتن بوجود فرق عميق بين القوى الحقيقية التي تحدث آثاراً قابلة للقياس والقوى الوهمية التي تحدثها مثلاً الحركات المسرعة . وبرأيه ان هذه القوى الوهمية (القوة الطاردة ، وقوة كوريوليس) تعزى إلى اختيار نظام الاسناد . في الفضاء المطلق لا تبقى إذاً الا القوى الحقيقية .

هذه الاستنتاجات كانت تُناقش كثيراً في أواخر القرن التاسع عشر ، خاصة من قبل هرتز ومن قبل ماش (ماش) . كان هذان الفيزيائيان يعتقدان ان كل نقطة مادية لا ترسم مستقيماً ذا حركة موحدة الشكل ، يمكن أن تكون ضحية اختيار خاطيء في نظام الاسناد ، ولكنها قد تخضع أيضاً لقوى حقيقية لم نعرف نحن كيف نكتشفها .

افترض هرتز (1894) ان الحركات الي تحدثها قوى الجمود تعطي اتصالات مع كتل أخرى أي تعطي تقييدات خفية . وتأثيرها تتحرك نقطة مادية وفق مبدأ الضغط الاقل : ان الحركة الفعلية هي الحركة التي تختلف أقل اختلاف ممكن عن حركة مستقيمة وموحدة . ان مبدأ الجمود ، وهو حالة خاصة في مبدأ الضغط الاقل ، يتوافق بالتالي ليس مع انعدام القوى بل مع انعدام الكتل المخفية . وقد أثرت انتقادات ماش بشكل ضخم في تفكير انشتين . عزا ماش سنة 1883 السمة المميزة التي تتمتع بها أنظمة الجمود إلى تدخل كتل بعيدة يصعب استبعاد تأثيرها بل يستحيل . فافترض مثلاً ان كل أنظمة الاسناد تكون متكافئة وتشكل أنظمة جمود لو ان الأرض كانت وحدها في الفضاء . ان دوران سطح أرجحة الرقاص ، رقاص فوكولت ، لا يترجم إذن كدوران بالنسبة إلى الفضاء المطلق ، بل هو يعبر عن التأثير الفعلي للكواكب البعيدة .

التكافؤ بين قوى الجمود وقوى التجاذب الكوني - ان قوى الجمود من شأنها ان تعطي جسم التجربة تسريعاً مستقلاً عن هذا الجسم التجريبي ($\gamma = \omega^2 r$ ، في الحركة الدائرية الموحدة) . ان قوى الجذب الكوني تلعب نفس الدور اذا افترضنا ، كما تقضي بذلك الخبرة ، وجود تكافؤ بين الكتلة الوزنة والكتلة الجامدة .

وفي هذا الشأن تتدخل الكتلة الجامدة (مقاومة التسارع) بالقانون الأساسي في الديناميك وهو : $F = m\gamma$. والكتلة الجاذبة M تظهر في الآثار الجذبية التي يرسمها قانون نيوتن وهو : $F = - \frac{GMm}{r^2}$

إذا كانت النسبة بين الكتلتين ثابتة كونية $M/m = C$ ، مستقلة عن الجسم المدروس ، فإن قانون الجذب النيوتني ، يستعين فقط بالكتل الجامدة :

مع افتراض $G = KC^2$ ، والمقارنة مع القانون الأساسي $F = -KC^2 mm'/r^2 = -Gmm'/r^2$ تتيح التنبؤ بتسارعات الجذب $\gamma = -Gm/r^2$ التي سوف تكون مستقلة تماماً - مثل مفاعيل الجمود - عن الكتلة m في جسم التجربة . والحال ان التماهي بين الكتلة الجاذبة والكتلة الجامدة (دائماً قابلة للاستخراج من $C = 1$ بفضل اختيار مناسب للوحدات) كان قد قال به نيوتن ، ولكنه يتركز على العديد من التحقيقات التجريبية .

ان التجربة الكلاسيكية « في انبوب نيوتن » تدل انه « في الفراغ ، كل الأجسام تقع بنفس السرعة » . وهذه التجارب قد استكملها بسل (Bessel) والتحقيقات التي قام بها يوتفوس (Eötvös) وزيمان ثم سوثرن Southern وزيمان بينت انه في درجة عالية من الدقة يمكن الخلط بين كتلة جاذبة وكتلة جامدة . ويمكن بالتالي تشبيه التسريعات التي تسببها قوى الجمود بالتسريعات التي تحدثها مفاعيل الجذب ، وهذه القوى بنوعها مستقلة عن كتلة جسم التجربة . ذلك هو معنى مبدأ التكافؤ .

ضمن هذه الشروط يمكن القول بأن قوى الجذب كقوى الجمود يمكن أن تتغير ، وأحياناً تستبعد بفضل اختيار مناسب لنظام الاسناد .

لقد اقترح انشتين المثل الذي أصبح كلاسيكياً ، وهو مثل الطابطة المتروكة وشأنها داخل مصعد حر السقوط ؛ بالنسبة إلى جوانب المصعد تكون الطابطة جامدة أي انها تقف أو تثبت على مسافة واحدة من أرض المصعد . أما إذا تلقى المصعد من أعلى إلى أسفل تسريعاً يفوق التسريع الأرضي g ، فإن الطابطة سوف تلتصق بسقف المصعد . وإذا كان التسارع أدنى من g فإن الطابطة « تسقط » إلى أرض المصعد . ويقول آخر يمكننا إذا أحسننا اختيار المرجع المسرع ، دائماً تغيير ، وأحياناً الغاء ، مفاعيل حقل الجذب . والتجارب التي حققت فوق سطح الأقمار الصناعية جعلت هذه الاستنتاجات مألوفة بالنسبة إلينا .

ومن ذلك ، ان تجربة أجريت فوق سطح نظام مسرع لا يمكنها الكشف عن حركة هذا النظام . ويمكن دائماً افتراض ان هذا النظام جامد ثم عزو حركة جسم تجريبي ما إلى وجود حقل جذب محلي مختار بشكل ملائم .

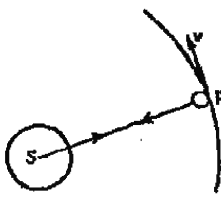
هذه الامكانية ، التي سببها التماثل بين الكتلة الجاذبة والكتلة الجامدة تمكنتنا من الاعلان عن مبدأ « التكافؤ المحلي » بين قوى الجذب وقوى الجمود ، أي بعد ادخال قوى جذب ملائمة : الاعلان عن مبدأ « التكافؤ المحلي بين الأنظمة المسرعة » . وهذا المبدأ يتيح توسيع مبدأ النسبية .

3- النسبية العامة ، نظرية غير إقليدية في حقل الجذب :

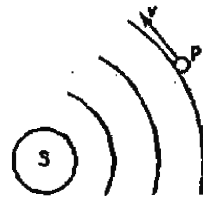
قوى الجذب وادخال عالم غير إقليدي - ان قوى الجمود تستطيع أن تُمتص محلياً بفعل

معطى قوامه عالم غير إقليدي . ومن جهة أخرى ، ان قوى الجذب تساوي محلياً قوى الجمود . وهناك قياس أكيد يتيح الاستنتاج بأن قوى الجذب هي أيضاً يمكن أن تذوب في بنية عالم غير إقليدي . ذلك هو التطور الذي نجح في ارشاد انشتين من مبدأ التكافؤ إلى النسبية العامة بصفتها نظرية غير إقليدية حول حقل الجذب .

في هذه النظرية لا يقوم مفعول الجسم الجاذب على خلق أعمال خصوصية من بعيد ، بل على إحناء الكون بقرب هذا الجسم . في هذا الكون المنحني الذي يخلقه الجسم الوزن ، لا يكون جسم التجربة خاضعاً لأية قوة ؛ انه « حر » إذا . ضمن هذه الشروط يرسم هذا الجسم المتحرك بحرية الخطوط « الأكثر استقامة » في هذا الكون ، انها الخطوط الجغرافية السطحية (الجيودزية) لهذا الفضاء (دوائر كبرى في كرة مثلاً) . والقول بأن نقطة مادية تخضع لقوى جذب في فضاء إقليدي ، يعني التسليم بأن هذه المدارات غير الإقليدية هي الصورة السطحية لهذا الكون المنحني المخلوق بكتلة وازنة موجودة في جواره .



حسب نيوتن ، تكون الجزئية P خاضعة للقوى التي يحدثها الجسم المركزي S .



حسب انشتين ، تتحرك الجزئية P بحرية في الفضاء المنحني بفعل الجسم المركزي S .

صورة 1 - حقل الجاذبية حسب نيوتن وحسب انشتين

دور مبدأ التكافؤ - هو المحور الذي يربط بين الحكمين التاليين :

أ - ان قوى الجمود يمكن أن تمتص محلياً بينيتين غير إقليديتين ، من هنا مبدأ النسبية العامة .

ب - ان قوى الجذب تنتمي بدورها ، إلى مثل هذه البنية ، ومن هنا نظرية غير إقليدية لظواهر الجذب . ان التكافؤ بين الجمود والجذب يتحقق حتماً بشكل شبه دقيق . الا ان هذا الزعم يدخل في النطاق التجريبي لا في النطاق المنطقي .

إذا لاحظنا مثلاً ان الكتلة الجاذبة ، لا تزداد بكاملها إلى كتلة جامدة ، فإن قوى الجذب لا يمكن ان تتأثر وتقارن بقوى الجمود ، وبالمعنى المحصري لا يمكن أن تمتصها البنيات الجيومترية . وعندها يتوجب تطوير نظريات إقليدية حول الجذب ، وهي نظريات نسبية بالمعنى الضيق ، إذا غير متغيرة في تحويل لورنتز .

ان نظرية من هذا النوع تشبه حقيفاً النظرية الكهرومغناطيسية التي قال بها مكسويل . وبالفعل ان المماثلة بين قانون نيوتن وقانون كولومب تستمر في الشكلانية التي بعثها بواسون Poisson ،

وحتى في تفسير الحقول وفقاً لتعريفات النظريات الإقليدية .

وعلى كل في حين ان إعادة النسخ الجسيمية لنظرية مكسويل ترتبط بجزئية ذات سبين 1 [دوامة] (عزم حركي خاص متخذ كوحدة) هي الفوتون ، فان النظرية النسبوية للجذب تُعنى بجزئية ذات سبين 2 هي الغرافيتون (الجذبون) ، ان هذه النظريات حول الجذبون قد شرحت وطورت بعد النسبية العامة بكثير (فيرز Fierz وبولي Pauli 1940 م . آ . تونيالات M. A. Tonnelat ، 1940 ج . بيركهوف ، 1944) ؛ لأن توسيع مبدأ النسبية هو المنحدر الأكثر بداهة الذي يمكن اتباعه بعد 1905 . وتطبيقه على الظواهر الجاذبية يبقى المعنى الأكثر إثارة للاهتمام ، والأكثر فناً جمالياً .

ومهما يكن من أمر ، ان مبدأ التكافؤ هو الذي يقود ظاهرات الجذب نحو تفسير غير إقليدي محتمل . وتدخل هذا الفضاء المنحني ، الضروري منطقياً من أجل تمثيل شامل للحركات المتسارعة ، يكون ممكناً ، عندما يتعلق الأمر بظواهر الجذب ، وهذا ما دام مبدأ التكافؤ لا يفرض هذا الفضاء . وهكذا ، بعيداً عن السماح بعودة الجاذبية نحو نظرية مستحيلة إقليدية حول الجمود ، يكون مبدأ التكافؤ الدقيق هو الشرط الضروري والكافي للنسبية العامة كنظرية غير إقليدية لحقل الجاذبية .

4 - قانون الجذب الكوني عند انشتاين :

القانون النيوتني الجذبي - بخلال القرن 18 والقرن 19 عرف قانون نيوتن الجذبي نجاحاً شبه شامل وتطبيق هذا القانون على الميكانيك السماوي [أي على حركات الكواكب] يتيح بحسب رأي هـ . بوانكاريه اعتبار موضوع هذا العلم كاثبات ضخم لهذا القانون النيوتني . ان الاختلافات النادرة التجريبية التي أشير إليها في القرن 19 تتعلق بشكل خاص بحركة الكواكب الكبرى وبصورة خاصة بالكوكب عطارد . فهذا الكوكب في حركته حول الشمس يرسم اهليلجاً لا ينغلق تماماً على نفسه بسبب التأثيرات المخربة للكواكب الأخرى . ان نقطة السميت أي أقرب نقطة إلى الشمس ، في هذا المدار تعطي سبقاً زمنياً متراكماً لا تقدره هذه الجداول (" 38 برأي لوفريه 1850 Le Verrier ؛ " 42 برأي نيوكومب 1880) .

أما الاختلافات الأخرى (تقدم مقدار 8" في سمت المريخ ، تقدم « العقد ») فهي أقل تأكيداً . والاختلافات التي تكشفها حركة القمر يمكن عزوها لأسباب موزعة جداً ، وغير معروفة تماماً (حركات المد والجزر) ، وحده تقدم نقطة السميت في عطارد يبقى أعلى بكثير من أخطاء التجارب ، ويشكل تحدياً أصغر ، إنما أكيد ، لقانون نيوتن حول الجاذبية .

وبالطبع ، يمكن عزو هذا الاختلاف إلى وجود ظاهرة إضافية ، خفيت على التجربة : حلقة من الكواكب الصغيرة ، داخل المدار العطاردي (لوفريه Le Verrier) ، عدم كروية الشمس ، الأضواء البروجية (سيليجر Seeliger) . وللأسف ان مثل هذه الخصائص لم تكتشف قط ، ولو وجدت لأحدثت اضطرابات مدمرة بالنسبة إلى توقع تحركات الكواكب الأخرى .

وإذا فقد جرت محاولة تغيير قانون نيوتن بواسطة تصحيحات اخيرت بذلك . ان التقدم

الملاحظ في نقطة السميت [أقرب نقطة في مدار كوكب ما إلى الشمس] يُعرف باستبدال قانون الجذب من عيار $1/r^2$ بقانون من عيار $1/r^n$ (باعتبار $n \neq 2, 000\,000\,16$) . ويمكن أيضاً تقدير حدود تصحيحية صغيرة (قانون هال Hall وقانون ديكومب Descombes وقانون لابلاس Laplace) ، ولكن هذه التغييرات تجري أيضاً مصاعب بالنسبة إلى التوقعات الأخرى .

وظهور النسبة الضيقة يطلب قانون جذب نسبي بالمعنى الضيق ، مستبعداً بالتالي « التحريفات » البسيطة للشكلانية الأساسية .

قانون انشتين ، شرط بنية فضاء ريمان - ان التعبير الدقيق عن قانون انشتين ، لا يمكن ان يستتج من المبادئ التوعوية التي سبق وعبرنا عنها . الا ان شكلها يمكن أن يستلهم منها بشكل تقريبي .

ان قانون الجذب يعبر عن نفسه بشرط بنيوي يشكل نوعاً من التوازن بين ما تقدمه مصادر الحقل (طاقة - دفع مادي ، كهرومغناطيسية ، الخ) والمعطيات الجيومترية . وبالارتكاز على شكل قانون نيوتن ، يمكن ان نبين ان تقديم المصادر يجب تشبيهه بالدفع - الطاقة المتمثل بوترّة تناظرية من مكونات $T_{\mu\nu}$ ($T_{\mu\nu} = T_{\nu\mu}$, $\mu, \nu = 1, 2, 3, 4$) . وتخلق المصادر انحناء فضاء - زمن يترجم ، بالنسبة الينا ، بوجود حقل جذبي . انه مزيج $S_{\mu\nu}$ من مكونات الانحناء (وبالتالي الحقول) الذي يوازن تقديم المصادر . ان قانون الجذب سوف يكون بالشكل التالي :

$$S_{\mu\nu} = \frac{8 \pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

ان العنصر ذا البنية التالية : $S_{\mu\nu}$ ينبنى انطلاقاً من انحناء فضاء ريمان ، وهذا الانحناء يعبر عنه بشكل كامل بواسطة « المِترى » $g_{\mu\nu}$:

$$S_{\mu\nu} \equiv - \frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{c^2 \partial t^2} = \frac{8 \pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

وهكذا ، إذا اخضعنا الانحناء المتقلص $S_{\mu\nu}$ (أو وِترّة انشتين) للتثبت من الشرط السابق ، نحصل على قانون جذبي من شأنه أن ينقلب ، في تقريب أولي ، إلى قانون جذب نيوتني . ضمن هذه الشروط ، يصبح الكامن الحيادي اللاتجاهي في الجذب النيوتني γ ، في الواقع ، المكون g_{00} للمِترى .

ان كتلة معينة (الشمس مثلاً) ذات الدفع الطاقوي البالغ $T_{\mu\nu}$ ، تحني أو تقعر الكون حولها . ويتج عن ذلك مِترى $g_{\mu\nu}$ ، يتيح احتساب انحناء $S_{\mu\nu}$. ان الشروط البنيوية تكمن بالضبط في الرابط بين هذا الانحناء ($S_{\mu\nu}$) والدفع الطاقوي للمصادر . وعلى الصعيد الظاهراتي ، تمثل هذه الظروف البنيوية بالطبع قانون جذب .

والآن إذا وجد جزئي تجريبي (كوكب مثلاً) في هذا الحقل ، فانه يتحرك « بحرية » داخل

الفضاء غير الإقليدي الذي تولده المصادر . ومساره يشكل مستقيم (أقصر خط) هذا الفضاء ، مستقيم يحدده المترى $g_{\mu\nu}$. ويتيح مُغطى المصادر ، انطلاقاً من قانون الجذب ، احتساب كامانات الجذب $g_{\mu\nu}$. وهذه الكامانات ، اذا دخلت في تعبير المدارات ، أي في المستقيمات ، فانها تحدد تماماً مسارات الجزيئات . وانطلاقاً من المترى ، ومن شرط بنيوي فضائي تحدد إذن حركة الكواكب بدقة .

5- التثبت من قانون انشتين :

حقل الجذب الذي يخلقه جسم يمتلك التناظر الكروي - ان قانون انشتين الجذبي ينقلب ، بالنسبة إلى حقل جذبي صغير نوعاً ما ، إلى قانون نيوتني جذبي . ان كل التوقعات المستمدة من هذا القانون ، تشكل هي أيضاً عواقب لنظرية انشتين . ولهذا ، ومن أجل اعطاء هذه النظرية مضموناً ذا معنى ، يجب العمل على استخراج استنتاجات غير نيوتنية منه ثم التثبت منها بواسطة التجربة .

ويتخذ قانون انشتين الجذبي بصورة خاصة شكلاً بسيطاً ، عندما يمتلك الجسم الذي يخلق حقل الجذب التناظر الكروي . تلك هي بصورة تقريبية ، الحالة المتحققة في الطبيعة بواسطة الحقل الشمسي . ضمن هذه الشروط ، يمكن ان نفترض ، بصورة مسبقة ، وعن طريق الاعتبار التناظرية ، لا التعبير الصحيح بل شكل الفرجة فضاء - زمن بين نقطتين متجاورتين . ويتخذ قانون الجذب شكلاً بسيطاً ، ويتيح تحديد المقياس المترى بصورة كاملة . ان البنية الجيومترية للفضاء الزمن تصبح عندها معروفة تماماً وكذلك الخطوط المستقيمة في هذا الفضاء الزمن ، لأنها تستخرج بصورة كاملة من المقياس المترى .

اذا خلق جسم يمتلك التناظر الكروي حقلاً له نفس التناظر ، فانه يحدد في جواره فضاءً زمنياً منحنيًا يمكن تماماً تحديد بنيتة انطلاقاً من سمات في الجسم المركزي (كتلة ، سرعة أساسية) ، وهكذا يمكن ، بصورة مسبقة ، انطلاقاً من هذه المعطيات نفسها ، احتساب مستقيمات هذا الفضاء ، أي مدارات الكتل (الكواكب) التي يمكن أن تدخل فيه .

تقدم سمت عطارد - ان المعادلات التفاضلية لمدارات كل الكواكب هي معادلات مستقيمات فضاء ذي تناظر كروي . ونتيج دراستها التنبؤ ببعض الاختلالات ، مثل تقدم سمت (نقطة الرأس) عطارد . اذا كانت φ, θ, r هي احداثيات [خطوط طول وخطوط عرض] قطبية في كوكب سابح في هذا الفضاء ، تثبت من :

1- ان حركة هذا الكوكب تتم في سطح ما (اذا كانت $\theta = \pi/2$ في اللحظة الأولية الأساسية فهي تحفظ دوماً بهذه القيمة) .

2- ان تغير φ يتناسب وينسجم مع قانون المساحات .

3- ان الشعاع الموجّه $r(r = 1/u)$ يثبت المعادلة التفاضلية :

$$\frac{d^2 u}{d\varphi^2} + u = \frac{Gm}{h^2} + 3 \frac{Gmu^2}{c^2}$$

التي تختلف عن المعادلة الناتجة عن النظرية النيوتونية ، وذلك بإضافة الحد الأخير من الطرف الثاني . وهكذا تختلف المدارات النيوتونية عن المدارات التي ارتقيتها نظرية انشتين ، بعبارة أو بعد صغير يمثل تقدماً مقداره $8u$ في سمت الاهليلج . وهذا التقدم يزداد كلما كان الكوكب يمتلك قوة نازعة عن المركز أقوى ، أي منحرفة أكثر .

ذلك هو حال عطارد ($a = 5.8 \times 10^{12}$ ؛ $e = 0.2056$ ؛ $T = 87.97$ يوماً) . ويؤدي الحساب إلى تقدم مزمّن في السمّ $= 42''$ وهو يتطابق تماماً مع معطيات الرصد .

انحراف الأشعة الضوئية داخل حقل جذب - ان فرضية التناظر الكروي تتعلق فقط بشكل الجسم المركزي الذي يخلق الحقل .

والمستقيّبات المتوقعة على هذا الشكل ، هي مستقّلة عن جسم التجريب الذي سوف يرسم هذه المستقيّبات . ويمكن بصورة خاصة الافتراض ان الشعاع الضوئي سوف يرسم مثل هذه المستقيّبات .

وعلى كل حال وبالنسبة إلى جسيمات ذات كتلة معدومة (مثل الفوتون) يتوجب ان يكون طول المستقيّبات (الفضاء الزمني) معدوماً . وهذا الشرط ($ds = 0$) يحول معادلات المستقيّبات التي ترسمها الأشعة الضوئية إلى العبارة التالية $\frac{d^2u}{d\phi^2} + u = \frac{3}{2} \frac{Gmu^2}{c^2}$ ، باعتبار ان المعادلات النيوتونية تكون عندئذٍ بدون طرف ثان . وحل هذه المعادلات يدل على ان المدارات الناتجة عن النسبية العامة تمثّل ، في جوار الجسم الرازن وبالنسبة إلى الحل المستقيم للحالة النيوتونية ، انحرافاً يساوي $4Gm/c^2R$ ، باعتبار ان R يمثل المسافة الدنيا التي تفصل الجسم المركزي في المدار عن الفوتونات . وللتثبت من هذه النبوءة الجديدة تماماً والمتعلقة بانحراف بعض الاشعة الضوئية ، من الضروري النظر إلى الاشعة التي تمر بجوار حقل جذبي قوي نوعاً ما كالشمس مثلاً . ان هذه الاشعة صادرة عن كواكب تقع بالنسبة البنا بجوار الشمس ظاهرياً . ولهذا السبب لا تكون هذه النجوم قابلة للرصد إلا في أوقات الكسوف حيث يضعف لمعان الشمس مما يتيح تفحص جوارها الظاهر .

ضمن هذه الشروط يمكن ان نرصد انحراف الاشعة الضوئية المارة بقرب الشمس وبالتالي ان نرصد الانتقال الظاهر على الكرة السماوية ، لبعض الكواكب التي تبث هذه الاشعة . وينتج عن ذلك ان نجمة محجوبة بالشمس (وذلك ضمن فرضية الانتشار المستقيم للاشعة الآتية من هذا النجم) تصبح مرئية بسبب انحناء الاشعة الضوئية .

ان الانحرافات المرصودة اثناء كسوف 1919 تعود إلى مجموعة القلائص Hyades الواقعة يومئذٍ بقرب الشمس ظاهرياً . وكانت النتائج الحاصلة منسجمة مع النتائج التي تنبأت بها نظرية انشتين ، رغم ان الانحرافات النظرية ($\alpha = 1''75$) ، كانت عند حدود اخطاء التجربة . وعثر ادنغتون فعلاً على انحراف يساوي 0.50 ± 1.69 . وهناك قياسات أخرى (كمبل Campbell وترمبلر Trumpler ، في الخرطوم سنة 1952) اعطت نتائج مماثلة .

ورغم وهن هذه القياسات كان انحراف الأشعة الضوئية أول اثر جديد تنبأ به نظرية تركز على تعديل شامل لكل معطياتنا الفضائية والزمنية .

وكان من الطبيعي ان تثير نتائج بعثة إدنغتون ، وهذا الدخول إلى كوسمولوجيا جديدة ، مشاعر « الجمعية الملكية » في هذه الجلسة التي وقعت في 6 تشرين الثاني سنة 1919 ، والتي دونها وايتهد Whitehead في صفحة لا تخلو من جلال :

« كان الجرم مشحوناً بانتباه زاخم يشبه جو الدراما اليونانية . وكنا نشكل نحن الكورث الذي يفسر مراسيم المصير كما بدت من خلال مجرى الحدث الاعلى . كان هناك قيمة مأساة في المراسم التي يغلب فيها الطابع المسرحي والطابع التقليدي ، وكانت صورة نيوتن في خلفية المشهد لتذكرنا بأن أكثر التعميمات العملية اوشكت بعد أكثر من قرنين من الزمن ان تتلقى أول نيل منها . ولم تكن هناك أية مصلحة شخصية تلعب دورها . انها أكبر مغامرة فكرية اوشكت ان تصل لحسن الحظ إلى شاطئ الأمان » .

الميل نحو الاحمر في الخطوط الطيفية ضمن حقل جاذبي . - ان ظاهرة الميل يمكن أن يعبر عنها بشكل عام جداً : « في حقل ذي سرعة ، أو حقل جذب ، يحصل تغير في التواتر الصادر عن ذرة محفوظة . ونشاهد عموماً تناقصاً في هذا التواتر أي انحرافاً نحو الاحمر » .

ان التغير ، الحادث بحركة نسبية ، في تواتر خط ضوئي ذي تواتر أساسي ν_0 يشكل اثر دوبلر

$$(\text{Doppler}) \quad \nu = \nu_0 \sqrt{1 - \beta^2} / (1 - \beta \cos \theta)$$

يختلف عن التواتر الصادر . وهذا التغير هو تراكم اثر نسبي خالص ، تأخر الرقاصات (حد β^2) مع اثر كلاسيكي (حد β) . وبالنسبة إلى السرعات القطرية ($\theta = \pi$) نحصل بصورة تقريبية خالصة

$$\Delta \nu = (\nu - \nu_0) / \nu_0 \approx -\beta = -v/c$$

أي تناسبية الفارق مع السرعة :

$$c \Delta \lambda / \lambda = v \quad (\lambda = c/\nu)$$

ومن جهة أخرى ، يدخل حقل الجذب ، هو أيضاً ، فارقاً معيناً . وإذا كانت U_i و U_j تمثلان الكامات التيوتية عند النقطة S_i و S_j ، حيث يتواجد المصدر والمراقب ، فإن تغير التواتر يترجم بـ $1 - \Delta \nu / \nu = (\nu - \nu_0) / \nu_0 = (\sqrt{g_{00}_i} / \sqrt{g_{00}_j}) - 1$ مع $\Delta \nu / \nu = 2U_j / c^2 - 1 - 2U_i / c^2$; $g_{00}_i = 1 - 2U_i / c^2$; $g_{00}_j = 1 - 2U_j / c^2$ سنبدأ لاستنتاج النسبية العامة . عندها نفترض المصدر والمراقب في حالة سكون نسبية . وبشكل قريب جداً من هذا ، يُحدث حقل الجذب ، وبالطبع حقل تسريع مواز ، « ميلاً نحو الاحمر » : $\Delta \nu / \nu \approx (1/c^2) (U_j - U_i)$.

المجال خارج المجرة - ان تفتحصنا تواترات الاشعاعات التي تصل إلينا من المجموعات الخارجة عن مجرتنا ، فاننا نلاحظ دائماً ميلاً نحو الاحمر . وهذا الاحمر يتناسب مع المسافة التي تفصلنا عن المجرة المرصودة (اثر هوبل Hubble) .

وهنا أهمية القياسات المحققة بواسطة مصادر أرضية خالصة .

قياسات الميل في المجال الأرضي . - ان استخدام معدات أرضية في تجارب الميل يتيح استبعاد أو مراقبة مفاعيل دوبلر الطيفية . ويصبح من الممكن عندئذ قياس مفاعيل حفل جذب محلي على الميل ، قياساً دقيقاً .

ان مثل هذه القياسات لم تتحقق الا منذ عهد قريب (1959) وهي تتناول مفاعيل ضعيفة جداً يصعب اكتشافها بواسطة المصادر المتوفرة من قبل .

إذا كان المصدر Si على ارتفاع H والراصد S عند مستوى الأرض تكون كامنات الجذب العاملة معادلة لـ : $U_i = GM/(R + H)$ و $U_j = GM/R$ ، باعتبار ان M و R هما الكتلة وشعاع الأرض . ويكون الميل الجذبي الخالص مساوياً لـ :

$$\Delta v/v = (GM/c^2) [(1/R) - (1/R + H)] \neq (GMH)/(c^2 R^2) = gH/c^2,$$

باعتبار ان $g = GM/R^2$ هي تسارع الجاذبية على الأرض .

ويكون الميل الذي يجب قياسه ، بالمتر ، مساوياً : $\Delta v/v = 1.09 \cdot 10^{-16} H$. ان تفاوتاً في الارتفاع يبلغ عشرة أمتار يعادل ميلاً ضعيفاً للغاية .

وللتثبت من الميول من هذه المرتبة ، يجب الاستعانة بمصادر مستقرة جداً (مكبر اشعاعي = مازر) أو مصادر دقيقة جداً (مثل خطوط الرنين التي يحدثها مفعول موسباور Mossbauer) .

المكبرات الاشعاعية أو المازر - اننا نعرف في الوقت الحاضر كيف نصنع ساعات ذات تواتر ثابت بشكل محسوس طيلة ساعة أو عدة ساعات .

من ذلك ساعات الكوارتز ($\Delta v/v = 10^{-9}$) بخلاف 24 ساعة) ، والساعات الذرية من مادة الكاسيوم ($\Delta v/v = 10^{-11}$ بخلاف 24 ساعة) ، والساعات الجزيئية الامونياكية ($\Delta v/v = 10^{-13}$) بخلاف ساعة واحدة) (انظر الفصل التاسع) .

ان المازرات المستعملة تستخدم بالتالي تواترات إبصارية وبصورة خاصة التواترات اللاسلكية المستحدثة بفعل نقل الالكترونات من مستوى طاقي E_m الى مستوى طاقة أقل (راجع بهذا الموضوع الفصل التاسع) .

وبث اشعاع قيمته $\nu = (E_m - E_n)/h$ يقترن مع ذلك بثشت $\Delta \nu/\nu$ لا يمكن من اكتشاف الفروقات للجذب مباشرة .

ان تحسين تقنية المازرات يمكن أن يحسن $\Delta \nu/\nu$ ، ولكن في هذا المجال من الصعب تفادي تأثير مفاعيل دوبلر الطيفية بين الذرات المحفوزة ، وهي مفاعيل تعطي الخط الضوئي تشتتاً حقيقياً ومهماً جداً مقداره $\delta \nu$.

وقد فكر البعض إما باستعمال مازرات في الأقمار الصناعية مما يزيد تفاوت الارتفاع H

وبالتالي يزيد في مفعول الجذب المتزن ، أو زيادة هذه المفاعيل بفضل المضخمات المكيفة . ان المصاعب التقنية التي تعترى هذه الوسائل هي اكيدة ، ولكنها لا تستعصي على الحل .

مفعول موسباور (Mossbauer) - بدلاً من استعمال الاطيف الابصارية والتواترات اللاسلكية من أجل اكتشاف فارق جذبي ، يمكن الاستعانة باطيف البث والامتصاص المحدثة بأشعة غاما γ المبعثة من قبل النوى المحفوزة .

وحتى سنة 1958 كانت هناك في هذا المجال صعوبة تشبه الصعوبة التي تظهر في الأنظمة الابصارية ؛ ان العرض الطبيعي للخط $\Gamma = h (\Delta v)_{\text{L}}$ مرتبط بالتشتت Δv . فيما يتعلق بزخم يعادل نصف الزخم الأقصى I_0 ، وهذا العرض يغطيه عرض حقيقي أكبر بكثير (بسبب مفاعيل دوبلر بين النوى المحفوزة) وهو يتزاح عن سلم الطاقات . هذا الانزياح يحدثه تراجع النواة ، فعندما تمتلك هذه طاقة الإثارة E_0 فإنها تطلق فقط طاقة مقدارها $E_0 - R$ ، والجزء R من الطاقة يستعمل من اجل التراجع . وكذلك عند الامتصاص يتوجب على النواة ان تكسب الطاقة $E_0 + R$ وينتج عن ذلك نقص مقداره $2R$ بين البث والامتصاص ، وهذا النقص يمنع من حيث المبدأ كل ظاهرة بث أو امتصاص نتيجة رجوع الاشعاع او ارتجاعه (في ظاهرة الرجوع يجب أن تكون الطاقة الممتصة مساوية تماماً للطاقة المبعثة) .

في سنة 1958 بين ر . ل . موسباور ان مثل هذه الظواهر الارجاعية يمكن أن تراقب بالنسبة إلى أشعة غاما الصادرة أو الممتصة من قبل شبكات بلورية محمولة نحو درجات منخفضة جداً (الأوت السائل) . في هذه الحالة تلتصق النواة المثارة بالبلور بكامله ويتم كل شيء كما لو ان الطاقة المتراجعة كانت مشحونة في كل البلور .

وبفضل عملية الرجوع أو الانعكاس ، يمكن استحداث أشعة غاما γ المتناهية الدقة واستخدامها لاكتشاف الزيف الجذبي . وفي حالة تجارب موسباور التي تناولت الايريديوم 191 الحاصل من تحطيم β انطلاقاً من الأوسميوم - 191 ($\Gamma = 6.10^{-6} \text{ ev}$; $E = 129 \text{ Kev}$; $\text{ev} = \text{الكثرو فولت}$)

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{h \Delta v}{h v} = \frac{\Gamma}{E} = \frac{6.10^{-6}}{1.29.10^5} \approx 10^{-11}$$

ويمكن الحصول على 10^{-10} وذلك باستعمال اشعاع غاما γ ذي الرجوع الصادر والممتص من قبل ^{67}Zn .

وتطبيق مفعول موسباور على قياس الاختلال الجذبي استمر في الولايات المتحدة ، وفي بريطانيا وفي الاتحاد السوفياتي .

والنتائج الأكثر اقناعاً قد تمت حتى الآن باستعمال مصدر ومراقب مفصولين بتفاوت في الارتفاع قدره 22 م تقريباً (ر . ف . بوند R. V. Pound وج . ب . ريكا G. B. Rebka ، 1960) . ان الاختلال الجذبي النظري سوف يكون :

$\Delta v/v = -1.09 \cdot 10^{-10} \times 22 \approx -5.10 \cdot 10^{-10}$. إن الانحراف المقاس ، باستعمال الاشعاع غاماً ٢ الصادر عن منبع ^{57}Fe (متوفر من جراء تفكيك β انطلاقاً من ^{57}Co) على بعد 22 م واللاقط من ذات الطبيعة على الارض يكون بعد عشرة أيام من التجربة : $\Delta v/v = (-5.13 \pm 0.51) \cdot 10^{-10}$. ان هذا القياس الدقيق جداً متوافق تماماً مع تنبؤات نظرية انشتين .

نضيف ان مفعول موسباور يمكن ان يطبق أيضاً على تقييم الانحرافات المحدثة بفعل حركة متسارعة ، مثلاً بدوران صحن . وهذا المفعول يستعمل إذا كنوع من الرائز لمبدأ التعادل .

وأخيراً ، ليس من المستبعد قياس سرعة الضوء ، بهذا الاسلوب ، فوق مسار ذاهب بسيط ، في نظام اسناد متحرك . وهكذا يُعاد ، بطرق جديدة ، الى الاهتمامات القديمة حول هواء الاثير . وحتى الآن ، بالفعل ، كل قياس للسرعة الضوئية يتناول بالضرورة مساراً ذهاباً وإياباً . وهكذا يمكن الظن بأن مبدأ النسبية الضيقة ، وان مبدأ التعادل اللذين يلعبان أدواراً متماثلة تماماً ، في حالة حركات موحدة وحركات مسرعة ، يمكن ، مرة أخرى ، التثبت منهما بتجارب جديدة .

وهكذا بصدورهما عن التجربة وانتهائهما إلى التجربة ، تشكل النسبية الضيقة والنسبية العامة ، اعظم مغامرة فكرية واكثرها إثماراً قامت بها الفيزياء عبر هذا القرن .

النظريات التوحيدية والنظريات غير الثنائية - ان انشتين وهو يبنى النسبية العامة وضع الجذب على قاعدة جيومترية تعزله بعمق عن النظريات الفيزيائية الاخرى . ولكن ، في أغلب الاحيان ، ومنذ كيبلر Kepler ، جرت محاولات تقرب نظريات الجذب من نظريات الضوء ، لان كلا من الظاهرتين ينتشر بشكل شبه آني . وتبدل قوانين نيوتن وكولومب وكأنها تكرر أيضاً ، بالنسبة إلى هاتين الظاهرتين صاحبتى المفاعيل من بعيد ، تفاعلية واحدة حسب $(1/r^2)$. ويردها قانون بواسون بأن واحد إلى شكلانية عمل تماسي .

بعد 1917 ، جرت محاولة اخضاع الكهرمغناطيسية لعملية جيومترية كان انشتين قد طبقها بنجاح كبير على ظاهرات الجذب . ولكن للأسف ، ان القيود التي فرضت على احديداب فضاء ريمان اتاحت فقط تفسير آثار الجذب .

ولدمج الكهرمغناطيسية والجذب في اطار جيومتري مشترك كان لا بد من توسيع هذا الاطار الجيومترى . اما بتزويد فضاء ريمان بعدد أكبر من الأبعاد : إذا فقد تم بناء نظريات ريمانية خماسية وسداسية الأبعاد ، باعتبار الأبعاد الاستكمالية تساعد على تفسير حقل مكسويلي . واما بحفظ فضاء ذي أربعة أبعاد ، انما بعد تعقيد بنيتة : وعندها نحصل على فضاء غير ريماني يشتمل على نوعين من الانحناء ، وعند اللزوم ، من البرم .

وتبقى هذه المحاولات المفيدة جداً ، مع الاسف ، شكلية نوعاً ما ، بمعنى انها لا يمكن ان تنبأ بالمفاعيل الجديدة القادرة ، التي من شأنها ان تثبت أو تدحض مقدماتها . ولهذه المحاولات قيمة غير منكورة في التركيب ، ولكنها تطلب تطبيقات تجريبية فعلية لكي تصبح موضوع مناقشات مفيدة .

تحاول هذه النظريات « التوحيدية » الجمع بين الكهرمغناطيسية والجذب تحت لواء الهندسة (الجيومتريا) ويتوجب بعناية تمييز هذا التركيب بين النظريات « غير الثنائية » التي تبغي اجراء توحيد بين الحقل ومنباهه .

ان تاريخ العلاقة بين الحقل ومنباهه المادية هو بعيد كل البعد عن الوصول إلى خاتمة مرضية :

فغالباً ما اعتبر الحقل (حقل الجذب ، والحقل الكهرمغناطيسي) ، بطبيعته ، غريباً تماماً عن منباهه (الكترونات) . وإذا عزونا إلى هذه الأخيرة دور القرائد النقطية ، فإننا نصطدم بمصاعب الطاقة الذاتية اللامتناهية . إذ تدخل هذه المصاعب أيضاً في أغلب النظريات الحالية ، سواء كانت كلاسيكية أم كتيبة (كمية) .

تجاه هذه المصاعب ، قُبل منذ عهد لورنتز بالخيار التالي : ان للمنباه وللحقل طبيعة واحدة : فالمنباه الممتدة تمثل مناطق يكون فيها الحقل زاحماً بشكل خاص ؛ من الناحية النظرية ، انها تمتد حتى اللانهاية . هذه التصورات التي دعمها لورنتز ، وبسبيل مختلف تماماً ، كل من مي Mic ويورن Bom وانفلك Infeld ، عاد إليها انشتين في محاولته التوحيدية الأخيرة التي ظهرت بالتالي كنظرية غير ثنائية .

والواقع ان انشتين كان دائماً مصدوماً بتفارق طرفي معادلات حقل الجذب . فالأول ، (« من الرخام النقي ») ، يمثل فعلاً تقديماً جيومترياً خالصاً ؛ والثاني (« مادي كثيف خام ») هو من أصل ظاهراتي . وفي سنة (1945) افترض انشتين أيضاً ان كل الحقول (وخاصة الحقل الكهرمغناطيسي والحقل الجذبي) وكذلك كل المساهمات المادية (الجزئيات على أنواعها) يجب ان تُمثل بواسطة معطيات جيومترية .

ان قوانين الحقل ستكون شرطاً لهذه المعطيات . ويتوجب بالتالي أن نستخرج منها ، عن طريق التحليل الانتقادي ، مساهمة ما نسميه عادة جذباً وكهرمغناطيسية ، ومنابع طبيعية ؛ ويتوجب أيضاً أن يُتيح هذا القانون الوحيد ، العثور على خصائص (كتل ، شحنات ، نابذات (سبينات) ، غرابة) الجزئيات المختلفة التي تظهر أمامنا في تجارب الطاقة المرتفعة .

لا شك ان هذه المحاولة ليست إلا برنامجاً أو بالاحرى أملاً . وانه لمن الادعاء المغرور الضن ان الشرط في البنات الجيومترية يعطينا في يوم من الايام جوهر قوانين تركيب المادة والطاقة . ومع ذلك فان آخر نظرية من نظريات انشتين كانت وصية روحية لا تخلو من جلال ومن ايمان بمستقبل الفيزياء النسبية .

الفصل الثالث

الميكانيك العام

تعتبر بداية القرن العشرين بالنسبة إلى الميكانيك منعطفاً صعباً⁽¹⁾ فحالة الكمال التي تحققت له - بفضل عمل الجيومترين الكبار ، من لاغرانج إلى جاكوبي ، عمل بدا وكأنه يعطيه (أي للميكانيك) وجه علم مكتمل ، جدير بأن يتخذ كنموذج للفروع الأخرى من الفيزياء الرياضية - قد اضطربت في أواخر القرن التاسع عشر من جراء المناقشات الحادة حول المبادئ ، مناقشات كان من شأنها زعزعة البناء بأكمله . لقد انقسم الميكانيكيون ، كما بينا ذلك في المجلد السابق ، حول اختيار المفاهيم الأولى ، بين مدرسة الكتلة ، ومدرسة القوة ، في حين ان علم الطاقة ، الذي رفض كل نموذج أو كل فرضية جزئية وعزل كل تفسير ميكانيكي يعتبر الخصائص الفيزيائية مجرد تركيبات من الصور والحركات ، بسط على كامل الفيزياء سلطاناً معدياً . لقد عزا انشتين ، في سيرته الذاتية العلمية ، إلى الانتقاد الحاد للمبادئ النيوتنية ، الذي قام به إرنست ماخ ، فضل زعزعة الاعتقاد الايماني بالميكانيك الكلاسيكي ، واعترف بأنه وجد في هذا الانتقاد الهاماً . ان الثورتين : ثورة 1905 (النسبية الضيقة) وثورة 1923 (الميكانيك التوموجي) تجاوزتا كثيراً المناقشات حول المبادئ الكلاسيكية ، حتى ان هذه بلدت بسرعة وكأنها شجار عائلي ، في عائلة متشبثة قليلاً بالدفاع المستميت عن تركة خاسرة . والمسألة التي تطرح نفسها على المؤرخ هي معرفة ما إذا كان قد بقي من الميكانيك ، على مستوانا ، شيء آخر ، غير مادة تعليم نموذجية ، وإذا ما كان من الممكن القول بوجود نوع من المستقبل لمجال علمي خاضع لضغط التحولات الالزامية .

بوانكاريه والميكانيك بحسب مستوانا - هناك مكانة خاصة ، كما هو معلوم ، يحتلها بوانكاريه في مجال انتقاد التنظيم للميكانيك الكلاسيكي . لقد عرف هذا العالم الفرنسي ، أفضل من أي عالم آخر ، كيف يكتشف التصدعات ، بل التناقضات في هذا البناء القخم : عدم النظر إلا

(1) يدين هذا الفصل بالكثير لدراسة رنيه دوغاس (توفي سنة 1957) بعنوان « حول تطوّر الميكانيك على مستوانا » المجلة الفلسفية ، تموز - أيلول 1956 .

إلى الحركات النسبية ، ثم تركيزها في فضاء مطلق ، واعتماد زمن مطلق لا يمكنه أن يكون إلا مجرد اصطلاح ، وطرح مبادئ مثل مبدأ الجمود الذي لا يبرره أي برهان « مسبق » والذي لا يمكنه كذلك أن يعبر عن واقع تجريبي . وبمعزل عن اثنتين ، توصل بوانكاريه إلى ترك مبدأ النسبية في الميكانيك الكلاسيكي ، لصالح « مسلمة نسبية » أكثر تجلواً وأكثر تعميماً بأن واحد⁽¹⁾ . وقد أوضح هو بنفسه فلسفته الخاصة حول القوانين والمبادئ : إذا لم يكن لأي من هذه الأسس أن يعتبر تحكيمياً ، بسبب المنشأ التجريبي البعيد ، ورغم السمة الاصطلاحية التي يفرضها تبلر البناء العقلاني ، فإن أيًا منها لا يمكنه أيضاً أن يؤخذ على أنه مقدس . ولكن بوانكاريه كان أكثر وعياً للتوضيحات التي تقتضيها وجهة النظر الجديدة ، فلم تكن لديه جرأة الشبّاب التي توفرت لانتشتين ، فإوضح صراحة أن الميكانيك الكلاسيكي ، يجب أن يبقى ميكانيك حياتنا العملية وتقنيتنا الأرضية .

إن هذا التأكيد بدا بسيطاً حين يذكر مفهوم المستوى أو المقياس . ونتيجة حدود حواسنا ، تبدو الظواهر الميكانيكية على مستوانا متلازمة بشكل طبيعي مع نظرية لا تركز على بنية المادة وتستعمل رياضيات المستمر ، والمتتابع ، والأبعاد الوسطى في مجال توسع الظواهر المعتبرة تحمل على الاعتقاد بأن فضيحة الوقت النسبي ، والمزدوج فضاء - وقت في تغييرات نظام الاستاد ، لها الحظ القليل في العثور على فرصة لتظهر .

وليس من المستبعد ، مع ذلك ، أن تستطيع نظريات من مستويات متنوعة ، تستعين بموديلات متنوعة ، معالجة نفس الظواهر . إن ترقيعات عقيدة الأعاصير الديكارتية التي من شأنها توضيح المعطيات الكمية في الفيزياء الرياضية النيوتنية ، ومحاربة الميكانيك الضخم الدائر حول الأعمال من بعيد عبر الفضاءات الفارغة الكبيرة ، قد استمرت حتى نصف القرن الثامن عشر . في القرن التاسع عشر برزت نظرية المطاطية ، والنظرية الحركية في الغازات بصعوبة من خلال الفرضيات الجزيئية التي كانت في أصل نهضة البحث المثمرة . ولأسباب محددة وعلى مستوى معين ، يصعب ، على ما يبدو ، القرار ما إذا كانت وحدها نظرية من نفس المستوى تصلح وتلائم ، وتاريخ العلم لا يساعد أبداً على مثل هذا الحصر .

لا شك أنه يجدر استقبال تأكيد بوانكاريه بفهم أعمق . من المعلوم أن إعادة النظر بالنسبية الكلاسيكية تقع فعلاً ضمن تغيير للسلم ، ويكون من العجيب ، ضمن هذه الشروط ، أن يكون الميكانيك الكلاسيكي بعد قرنين من النجاح قد قال كلمته إنتهائية في الظواهر التي هي على مستوانا . يبقى مع ذلك أن نعرف ماهية هذا التأخير على وجه الدقة .

التطورات التي دخلت على الديناميك الكلاسيكي - إن التحليل الكلاسيكي الذي قام به لاغرانج ، قد لفت الانتباه إلى الصعوبة الأساسية : وهي صعوبة الربط الميكانيكي . وأنه بهذا المعنى عرف عصرنا إنجازات متقدمة وضخمة . ويفضل مفهوم « طاقة التسارع » ، وجد ب . آيبل Appel الوسيلة لمعالجة الروابط الكاملة الاسم أو غير الكاملة بنفس الأسلوب .

(1) انظر بهذا الصدد الفصل السابق .

في أطروحة كان موضوعها دراسة البوصلات التوجيهية (الجيرسكوية) ادخل هـ . بيغين (H. Béghin) الروابط الاخصائية ، المحققة في كل لحظة بفعل الاعمال الاوتوماتيكي للمصادر الاضافية الطاقوية ، والتي تختلف بصورة اساسية عن روابط التماس البسيط . في لغة النظرية الكلاسيكية تتطابق مع هذه الروابط الاخصائية التي قد تكون تامة أو غير تامة ، قوى لا يكون عملها مغلغاً بشكل عام عند التغير المحتمل للنظام . ويعتاد الميكانيكيون على توثيق الووابع التي تعتبر في الاصل غير كاملة ، كما يعتادون على توسيع الشكلانية التقليدية في المجال الديناميكي . ان تناقص سعة التارجحات الطبيعية قد يلقي في هذا المنظور تصويراً شكلياً عن طريق الربط ، هذا الربط الذي أوصى بتطبيقات عملية بفضل تقنيات الربط الحديثة المستغنية عن التماس .

ولكن على صعيد آخر استطاعت الشكلانية التقليدية في علم الديناميك ان تتسع اتساعاً جذرياً أكثر . لقد بين ايلي كارتان Cartan في كتابه « دروس حول اللامتغيرات المتكاملة » (1922) ، ان كل خصائص معادلات الديناميك ، في الأنظمة التامة الاسم تشتق من وجود شكل تفاضلي خارجي من درجة واحد ، وهذا الشكل لا يوجد إلا إذا كانت القوى المطبقة في النظام تتعلق بدالة القوى . وقد امكن حديثاً التحرر من هذا الشرط للوصول إلى صيغ ذات عمومية كبيرة . لقد اثبت ف . غاليسوت Gallissot ، سنة 1954 ، ان معادلات حركة نقطة مادية ، وهي معادلات لا تتغير في تحولات مجموعة غاليلي ، تتولد بفعل شكل تفاضلي خارجي من الدرجة اثنين ، شكل يتحدد حول تشكيلة V_7 ، وهي اشتقاق سطحي طوبولوجي من V_6 ، وفضاء معاس للفضاء الاقليدي ، وبالمستقيم العددي ، وهذا دون الحاجة إلى وجود دالة قوى . وبوجه اعم ، كل نظام ذي عدد n من درجات الحرية ، يتألف من نقاط مادية ومن جوامد حرة ، يتميز بشكل تفاضلي خارجي ذي درجة اثنين ، محدد على تشكيلة V_{2n+1} . في هذه الصياغة الجديدة للميكانيك ، هناك رابط يتميز من جهة بشبه تشكيلة رمزها V_{2n+1} ، ومن جهة اخرى بمصادفة من شأنها تحقيق الارتباط وتعبّر عن نفسها بحقل ربطي محدد في الفضاء التماس لـ V_{2n+1} . ان هذا الاسلوب في العمل يشمل بأن واحد ، مع الروابط الكلاسيكية (التامة الاسم أو غير التامة) ، الإخصاعات كما يشمل روابط اخرى اعم ايضاً .

وعلى كل حال تستمر حالة الروابط التي من شأنها ان تنقطع ، في طرح مسائل دقيقة .

ان لعبة العلامات أو الإشارات المفروضة بصورة مسبقة على الروابط أو على التسارعات ، ليست فعلاً بالكافية دائماً (باستثناء حالة الروابط التامة الاسم أو غير التامة خطوطياً) من اجل تحديد الحركة اللاحقة في النظام بشكل موحد . وهكذا يمكن ان تحدث تناقضات أو مفارقات أو اشكالات ، ذكر حالتها بـ . بانليفه Painlevé سنة 1895 بمناسبة الاحتكاك بدون انزلاق ، وهذه الحالات ليست الا امثلة خاصة من جملة حالات اخرى . ان نظرية الصدمة مع الاحتكاك (داربو Darboux ، ديلاسوس Delassus ، بيريس Pérès ، بيغين Béghin) قد اتاحت حل العديد من هذه الاشكالات (الصدمات التمامية) ، ولكن يبقى منها العدد الكافي الذي يحمل الميكانيكيين على الاستمرار في التساؤل حول امس علمهم . لا شك انه قد ساد الاعتقاد بأن الحالات المستعصية

تمثل ظاهرات يبدو من المستحيل اجمال تشوهات المتناهية الصغر ، والتي لا تعبرها قوانين الارتباطات الكلاسيكية اي اهتمام . ويبقى انه يستحيل حتى الان ، حتى ولو كان هذا المنظور صحيحاً ، كيف يمكن لهذه القوانين بشكل من الأشكال ، ان تغير سلمها مع بقائها متواضعة مع بنية خاصة متميزة .

وفيما كان تطور الديناميك الكلاسيكي يلاقي حداً بارزاً ، اخذت تظهر نجاحات لا يمكن اجمالها ، في دراسة الذبذبات ، وكانت هذه النجاحات مهمة جداً بالنسبة إلى التقنيات الأكثر تنوعاً . ان الربط بالمماثلة بين التارجحات الكهربائية والميكانيكية ، وتطبيق طرق التقريب من اجل حل المعادلات التفاضلية غير الخطية قد أتاحا تقديم البرهان على ان التحليل الرياضي قد احتفظ بقدرة مخصصة بالنسبة إلى الميكانيك على مستوانا .

ميكانيك الأمكنة المستمرة - ان هذا التعبير يتخذ منحى قديماً نوعاً ما ، ولكنه ما يزال يستعمل لما يتميز به من انه يغطي في نظر الجميع مجالاً واسعاً فيه كانت اعمال حقبتنا مهمة بشكل خاص . في الميكانيك حول الموائع ترك تراث الماضي اشياء كثيرة يجب عملها ، خاصة من اجل الوصول إلى المسألة الصعبة ، مسألة المقاومة . لاحظ بانيلفي بان مفارقة دالمبير D'Alembert (المقاومة المعدومة بالنسبة إلى حاجز جامد في حالة انتقال مستقيم وموحد داخل مائع غير قابل للانضغاط وكامل وغير محدد ، وفي حالة سكون حتى اللانهاية) هي مفارقة انعكاسية . ان اية نظرية انعكاسية لا يمكن ان توضح المقاومة . والانلام النائمة التي قال بها كيرشوف Kirchhoff وهلمهولتز Helmholtz واللذان قدما في القرن 19 نموذجاً ممكناً للتصريف ، قد افسحت في المجال امام عمل رياضي ضخم (ليثي - سفيثا ، فيلات Villat ، لافرانتييف Lavrentiev) دون امكانية التوصل إلى تفسير يزيد عن نصف المقاومات الملحوظة بصورة تدريجية . وفي الواقع ان هذه الانلام تكون غير مستقرة في حال انعدام اللزوجة ، مع امكانية تحولها إلى مناطق مضطربة . ومن جهة اخرى يبقى هناك مجال ممكن للغموض فيما يتعلق بالنقطة التي يفصل عندها العلم ، كما يوجد بالنسبة إلى بعض اشكال الجوانب عدد غير محدد من الاخاديد الممكنة . ثم انه عبر دمج الاضطراب بالنظرية قد امكن تحقيق تقدم جديد .

وقد اتاحت نظرية ن . آ . جوكوفسكي Joukovski وس . آ . تشابليغين Tchaplyguine (1906-1921) ، بفضل التدويم (الدوامة المرتبطة بالجانب) الحصول على تقريبي لا بأس به فيما يتعلق بمقدرة جوانب الاجنحة على المقاومة في مجال الايروديناميك (تحريك الغازات) . ولكن هذه النظرية بذاتها أدت - في حالة الجانب المستقيم المنحني أو المائل فوق تيار سائل افقي - إلى شبه مفارقة جديدة (سيزوتي Cisotti) لفتت الانتباه إلى الاحتراس الواجب اتخاذه عند الانتقال إلى الحد الاقصى ، انتقال تقتضيه تصورات الجناح الرقيق .

ان نظرية جوكوفسكي - وهي تستخدم التقنية الرياضية لدالات المتغير المعقد - لا تطبق الا على حركات سطحية . وبالانطلاق من صبح بوانكاريه التي تعرف السرعات انطلاقاً من دوامات ، مع معالجة سطح الحاجز الجامد باعتباره طبقة من الدوامات ، وباعتبار هذا الحاجز بالذات كنواة سائلة ذات ضغط ثابت ، استطاع م . روى Roy ان يعمم سنة 1925 قاعدة جوكوفسكي بالنسبة الى

الحواجز الصلبة المتحركة بحركة لولبية موحدة داخل تيار غير محدد وثابت ، لمائع غير قابل للانضغاط وكامل .

وايضاً وبعد نقل المشكلة الى الابعاد الثلاثة ، استطاع براندتل Prandtl سنة 1918 ، مستعيذاً تصور لنشستر (1909) ، وبعد اعتماد تصميم محدد بالنسبة إلى طبقة الدوامات الحرة المنطلقة من جانب مهرب طرف الجناح ذي الفتحة المتناهية ، ان يضع نظرية (الجناح الحامل) حيث تدخل ، الى جانب (الحمل) الشبه بحمل جوكونفسكي ، مقاومة سببها وجود سرعات تحدثها الدوامات الحرة . وبعد 1903 ، وفي نظام فكري مختلف ابتكر نفس المؤلف نظرية فتحت المجال أمام بحوث عديدة ، وتجلت خصوصيتها : ان المائع الطبيعي ، الضعيف اللزوجة ، يتصرف ، بشكل محسوس وكأنه سائل كامل ضعيف المسافة بالنسبة إلى حاجز يلتف هذا السائل حوله ، في حين انه في طبقة رقيقة جداً تحيط بالحاجز ، وتسمى الطبقة الحد ، تتجاذب جهود نماسية مهمة ، مع تبديد للطاقة وتشكيل للدوامات أو الأعاصير . وهكذا يفسر تشكل مقاومة الاحتكاك ، في حين يتوقف السائل الكامل فلا يعود يعتبر افتراضاً أو وهمياً إلا بمجاورة مباشرة للحاجز . وتشمل هذه النظرية الموائع القابلة للضغط . وداخل الطبقة الحد بالذات يمكن ان تكون الحركة رقائقية انزلاقية أو دوامية .

تلك هي ، بصورة مختصرة ، بعض الامثلة الدقيقة التي كان من الضروري اللجوء اليها للهرب من مفارقة دالمبير (D'Alembert) ، انما دون النجاح الكامل في ذلك . عُدّج . بيركهوف (G. Birkhoff) (1950) ما يقارب من خمس عشرة مفارقة جديدة ظهرت في مجال ميكانيك الموائع مع المعالجة العقلانية للزوجة .

وكون ميكانيك الموائع قد لقي الكثير من المصاعب ، ومن البعد جزئياً عن الحس السليم ، والمنطق أو التجربة ، لا يطعن ابداً ببنية الرياضية ؛ ونرى هنا ، وبصورة افضل مما هو في حالة مفارقات الديناميك العام ، ان الاختصارات المتتالية التي يجب ان تمر بها كل محاولة تنظيم علمي ، تشكل صعوبة هائلة . فالجمع ثم المزوجة ، بأن واحد ، بين الانضغاطية ، واللزوجة ، والتوصيلية ، والتدوم [حدوث الدوامات] ، ومع هذا التدوم الظروف التي تساعد عليه مثل خشونة الجوانب الصلبة ، يجب ان يكونا بالتأكيد موضوع برنامج نظرية حول الموائع الحقيقية .

ولا يمكن الارتقاء إلى مثل هذا التعقيد الا بالتدرج ، وباستعمال الوسائل الرياضية الاكثر فاكثر اتقاناً . ومع ادخال التدوم مثلاً ، تصبح الوسيطات التحريكية المائعية كالضغط ، والتقل النوعي ، ودرجة الحرارة والسرعات متغيرات احتمالية (آ . ن . كولموغوروف) .

وبناء لمتطلبات التقدم في مجال الطيران ، توجب تطوير الدراسة المنهجية لحركات الموائع القابلة للضغط وانتشار الانقطاعات تحت شكل موجات تسارع أو صدام ، قام بتحليلها كل من ريمان Riemann ، ورانكين (Rankine) وهوغونيوت (Hugoniot) . وتوجب الاهتمام اكثر بالتحرك الحراري (ترموديناميك) ، بسبب الانقطاعات المقترنة بالحالة الكيميائية ، وبصورة

خاصة بالتفاعلات الانفجارية التي قد يكون مركزها الوسط الذي مسته الموجة (شابمان Chapman ، Vieille ، دوهم Duhem ، جوغيه Jouguet وكروسار Crussard) .

ولكن مهما كان الكمال المستمر في الجهاز الرياضي المستعمل ، والذي هو من مميزات التوصل إلى مفاهيم فيزيائية كانت حتى ذلك الحين غير واضحة ، فقد أوجدت التقنية الحديثة مشاكل بلغت تعقيداتها - فقط من جراء شروطها القصوى - حداً جعل تحليلها النظري غير مفهوم ، بحيث توجبت بالضرورة العودة بشأنها إلى التجريب . من هنا نشأت عدة « معاهد » لميكانيك الموائع ، حيث يتزوج ، في كل البلدان ، البحث النظري مع دراسة « النماذج » في أحواض الأحاديد ، والاتفاق الانسيابية المتحركة ، على تصاميم أعمال مائية (هيدروليكية) ، أو بواسطة المماثلات الكهربائية .

ويكون من الخطأ الظن بأن هذه العمليات تتم بدون صعوبات أخرى غير الصعوبات التقنية . ان مقارنة نظامين « متشابهين » فيما بينهما ، تثير فعلاً مسألة يدخل فيها مفهوم « ضخامة » الكميات الفيزيائية دخولاً محتوماً .

على أثر قاعدة وضعها فاشي Vaschy سنة 1892 ، أصبح التحليل البعدي نظرية دقيقة تحكم بالتطبيقات التناظرية . فضلاً عن ذلك لا يتحقق عملياً الا تناظر جزئي . مثاله في نماذج الانهار ، والقنوات ، والمرافئ تكون مفاعيل اللزوجة اعلى من المعتاد ، والتدويم يكون من جراء ذلك اقل ، ولذا يتوجب استحداثه صناعياً .

ومن الملاحظ أكثر انه رغم مجمل هذه الصعوبات ، تظل البحوث النظرية تتوسع وتسجل نجاحات ، منها اعمال بيريس Pérès حول الضغوطات التي يُحدثها خبط الموج فوق مكبر ، والتي هي مثل من امثلة كثيرة .

وعاشت المطاطية ، وهي فرع آخر من ميكانيك الامكنة المستمرة ، طويلاً على ارض القرن التاسع عشر ، حتى ولوجاءت التقنيات العملية للرياضيات الحديثة (الحساب الموترى) ، ولحسن الحظ ، لتغير وتخفف من حدة هذه المطاطية . إن الحاجة إلى مواجهة الأنظمة ، حيث لا تكون الحرارة موحدة ، وحيث المسائل التي يتدخل فيها السلوك الحراري للمكان أقامت علاقات وثيقة مع الترموديناميك (علم الحرارة المتحركة) ، حوّلت وجهة النظر الطاقوية إلى مطاطية . لقد أخذ بوجهة النظر هذه ، حتى في حالة المطاطية الثابتة الحرارة ، كما يثبت ذلك عمل تيموشنكو Timoshenko ليحلّ عن طريق التقريبات المتتالية العديد من المسائل المحددة ، التي تستعصي على الحلول التحليلية البسيطة . وأخيراً اتاحت التطورات الحديثة معالجة مسائل المطاطية غير الخطية . ولكن يبقى انه في حدود صلاح النظرية الكلاسيكية ، يتم تشويه شكل الجسم الجامد المطاطي بصورة انعكاسية ، ودونما مقاومات سلبية ذات قيمة ، في حين تحتاج ظواهر معروفة تماماً إلى ملاك أو نظام : ومن الظواهر الارتداد أو الرجوع (عودة إلى الحالة الاصلية مع حلقة من المقاومات السلبية) ، والتشويه (تحريف دائم في الشكل) والتشويه الممتادي (تغيير مطرد في الشكل يتفاعل مع الزمن تحت ضغط ثابت) . ان النظريات الجديدة

الضرورية في هذا الشأن (ليونة ، مطاطية - لزوجية ، فرط المطاطية) أخذت ترسخ من وجهة النظر الرياضية .

نذكر ان فصلاً جديداً قد فُتِحَ في آخر القرن التاسع عشر ، مع اعمال بومينسك (Boussinesq) حول توازن كتلة متفككة محدودة بسطح مسطح . ان ميكانيك التربة قد اثار ابحاثاً رياضية جميلة (ريزال Résal ، كاكوت Cacot) ، ثم شمل بعد ذلك ، مع فون ترزاغي Terzaghi وفروهلينغ Fröhlich ، الاراضي الممتصة .

هذه السمة الأخيرة لتاريخ سريع جداً تدلّ تماماً على أنّ الميكانيك الكلاسيكي لم يقل بعد كلمته الأخيرة . ربّما يفكر البعض أنّ السبب يعود ببساطة إلى كون هذا الميكانيك قد اقام مع التجربة حواراً أكثر يومية وأقلّ قانونية ، وأنّه ، بحكم كونه أكثر إدراكاً للتصورات التي تجعله أقرب من الواقع ، قد غيّر منحا . لقد فقد من اليقين الميتافيزيكي (الماورائي) والمظهر الفلسفي ما استطاع أن يكسبه من الفعالية . إنّ تحاليليه محكومة بأنّ تتموضع على سلم وسط ، وسبله أصبحت أكثر صعوبة وأقلّ إغراء من السبل التي قادته إلى أن يعي مسلماته الأولى . يبقى ولا شك أن نرى ما إذا كانت هذه الرؤية للأشياء صحيحة تماماً .

البحوث القرية حول التبدية في الميكانيك الكلاسيكي - ان مسألة التبدية الدقيق قد طرحها هيلبرت سنة 1900 ، ثم انها بعد ذلك راودت افكار العديد من الرياضيين . ونصف القرن كان ضرورياً حتى تتم محاولات تقديم حلول . وهذا الامر يفهم بسهولة بسبب الثورة الجارية في بنية الرياضيات بالذات .

ويعود الفضل إلى المجموعة الاميركية المسيرة من قبل ك . تروسل (C. Truesdell) وخاصة إلى ولترنول Walter Noll في بذل جهد ملحوظ في هذا الشأن (1960-1955) .

يُعرّف الميكانيك ، برأي هذا المؤلف ، بأنّه علم الحركات المتعلقة بأجسام متتالية او منفصلة متقطعة تحت تأثير قوى مشتركة . ان التعبير « متتالية او متقطعة » يجب ان لا يوقع في الخطأ . ان « جسم » الميكانيك الكلاسيكي هو بذاته وسط متتال مستمر وكلمة « منفصلة متقطعة » ، توحي فقط بتعددية ممكنة في مواضيع الدرس ، وكلمة « متتالية » تدل على ان مسلمات الميكانيك يجب ان تكون ، بحيث تكون الامكان المتتالية بالمعنى القديم والعام ، داخلة فيها بشكل طبيعي وكامل . اما القوى ، الوسيطة في فهم الحركة ، فان كلاً من انظمتها يتحدد ، بكل عمومية ، كدالة ذات قيم توجّهية في المجموعين ، تفي ببعض شروط التجميع . إذا تمّ هذا ، فان المسلمتين الاساسيتين في الميكانيك الكلاسيكي هما بالنسبة الى و . نول مسلمتان موضوعيتان . ان المسلمتين لا تختلفان إلا من حيث موضوع تطبيقهما .

تتعلق المسلمة الاولى بموضوعية خصائص الجسم . وبين و . نول بان المعادلات العامة لديناميك (ميزان الاعمال والعزوم) هي من حصائل موضوعية عمل القوى . وكلنا نعلم ما فيه

الكفاية بأن هذه المعادلات العمومية ليست بكافية ، وأنه يجب ان نضيف اليها بعض المعادلات المكونة التي تحدد الطبيعة الخاصة للتفاعل المتبادل بين كل جسم والقوى الكامنة فيه .

ان مثل هذه المعادلة هي دائماً من الشكل التالي : $T = \frac{1}{2} \rho v^2 [v]$ حيث تمثل T وتيرة (Tenseur) (الوتره هي كمية رياضية ذات مكونات عدة بسمات ثابتة شكلية يتغير اساسها) الجهود . وتمثل (F) مقدار الانحراف (التدرج) في « المنقطة المادية » و ρ هي الوظيفة الدالية . وقد نعتبر « كمجموعة ذات خواص موحدة » في مادة ما مجموعة تحولات النقاط المادية التي من شأنها ان تترك « الوظيفة الدالية » ρ ثابتة لا تتغير . ان المجموعة الموحدة الخواص تميز المواد : بالنسبة الى الجسم الجامد ، تكون هذه المجموعة مجموعة فرعية للمجموعة العاصدية ، في حين انها بالنسبة الى مطلق مائع ، المجموعة الاكبر الممكنة ، اي الوحيدة القالب . وتؤكد المسلمة الثانية التي قال بها و . نول على موضوعية المعادلات التكوينية .

والهام « النسبية العامة » ظاهر هنا للعيان ، في حين ان الأمر لا يتعلق الا بميكانيك كلاسيكي ، متميز بوضوح كلاسيكيته من خلال البنيات العامة التي حولها يمارس جهد التجريد (اجسام وانظمة القوى) . ورغم ان العلماء السوفيات يتحفظون وبفضلون طريقاً آخو من اجل اضافة الصفة الجيومترية على الميكانيك ، فان الاتفاق جارٍ بشكل عام ، من اجل الاعتراف بأن بديهيات نول توافق برنامج هيلبرت (Hilbert) ، والجرأة التي امكن بها التوصل ، بفضل المعدات الرياضية ، الى هذه النتيجة ، قد كوفئت بأبعد من التصنيغ الجديد لما سبقت معرفته .

وبالتعاون مع كولمان (Coleman) استطاع و . نول ان يحلّ بالعمومية الكاملة بالنسبة الى كل مائع غير قابل للانضغاط ، مسائل الزوجة المترية (سيلانات بوازيل Poiseuille وكويت Couette) ومباشرة مجالات جديدة جداً حول الزوجة غير الخطية ، وكذلك نظرية الانحرافات المتناهية . ان خصوبة التفكير التجريدي والبناء العقلاني ما تزال إذا مذهشة .

الاستنتاج - بعكس ما نوحه ثورات بداية القرن ، لا يعتبر الميكانيك من النمط الكلاسيكي مجالاً مستنفداً اليوم . ان المصير الذي تنبأ له به بوانكاريه Poincaré قد اتسع لحسن الحظ . ويفضل تفاعلات تتكاثر دائماً مع مجالات اخرى من الفيزياء ، فان الميكانيك الكلاسيكي لم يتغلق على استثمار مجاله القديم الحكري ، كما انه لم يتقبل مفهوم السلم الوسط ، وفقاً لقانون المحدودية . لا شك انه صادف من المفارقات اكثر مما عرف من ذي قبل ، الا ان هذا قد افاده اكثر في فهم وفي وعي حدوده وطبيعة طريقته ، دون المساس بجوهره . لا شك انه اصبح ورشة تزاوجت فيها موارد الرياضيات الاحداث مع موارد العديد من التقنيات التجريبية من كل نوع . ولكن من هذه الورشة اخذت تظهر قواعد فكرية وانماط حساب واسعة بحيث تشتمل على اكثر ما يمكن من الظواهرات الممكنة ، وبأن واحد دقيقة بما يكفي لكي تحوش من قرب البنية التجريدية . ومثل عمل و . نول يستبعد ان يكون الميكانيك فرعاً من الرياضيات التطبيقية خاضعاً للتجريب .

ولا احد يستطيع القول بان هذا الميكانيك هو بكل بساطة « عقلائي » ، اذ يتوجب عليه

« لاحقاً » ان يذلل ، بشكل كامل نوعاً ما ، عيوب التلخيص او الاختصار الذي فرض « مسبقاً » .
ومهما كان الدين المعقود تجاه الطليعيين الكبار ، فان زمن المطلقات من النمط النيوتني قد ولى
ولم تعد الأسس مضمونة بفضل ميتافيزيك مبسط .

ولكن هذا الميكانيك - في صيغته المسلمانية الجديدة ، الموسومة بعمق بالنسبة العامة - ما
يزال يحتفظ بالسمات المميزة للميكانيك الكلاسيكي . فهو يشتغل على نفس المواضيع ، فيدرك
بنيتها بدقة اكبر ، ويتبع ايجاءات التجربة ، ويسقط على معطيات الواقع الضوء الساطع الذي يلقيه
التحليل الرياضي ، ويستمد من التحليل ما يمكنه من استكمال المفاهيم المجردة . ان هذا
الميكانيك هو عام ويجد بالطبع مكانه في التعليم التأسيسي ، كخطوة انتقالية بين الاعداد والتعليم
الاكثر تخصصاً . الا انه لم يتوقف عن التطور ، وعن الكون بالنسبة الى الفروع الاخرى من
الفيزياء ، وبأن واحد نقطة تلاقٍ ونموذجاً مميزاً .

فيزياء الجوامد

لمدة طويلة ظلّ الجسم الجامد غير ذي أهمية بالنسبة إلى الفيزيائيين ، إلا في بعض حالات استثنائية مثل البلورات الطبيعية التي كان يدرسها علماء المعادن . وعلى وجه العموم كان الجسم الجامد يعتبر كجسم لا يتأثر شكله أبداً ، أو قليلاً جداً ، بالنسبة إلى المؤثرات الخارجية ، الميكانيكية ، أو الحرارية الخ . والشئ المطلوب من هذا الجسم ، من جانب علماء الفيزياء والكيمياء ومن جانب التقنيين من كل نوع ، هو تقديم أغشية أو أغطية ، أو دعائم ثابتة وقوية . ومن الناحية العملية التجريبية ، كان الجهد يبذل من أجل تعيين الحدود التي لا يجب تجاوزها ، خيفة من الانقطاع أو التشويه غير المقبول ، وكان البحث يجري عن جوامد من نوع جيد ، سواء في مجال المعادن أو في مجال مواد البناء .

وفي تقريب آخر ، جرى الاعتراف بأنّ هذا الحد اللاتحول في الشكل ليس دقيقاً . فالجسم الجامد يتمدد بفعل الحرارة في حين أنّ أحجامه الخارجية تتغير عندما يخضع للشد أو الجذب . وهذه التغيرات الشكلية المسماة مطاطية ، هي ذات ارتداد ، وتتوقف عندما يتوقف الشد . ان نظرية المطاطية ، التي انطلق بها هوك Hooke سنة 1670 ، تطورت بالنسبة إلى الأجسام الجامدة المتجانسة والمتماسكة والموحدة الخواص ثم غير الموحدة الخواص . وقد أعطت الأوجه الرياضية لهذه النظرية مجالاً لامتدادات مفيدة ، سواء في الرياضيات الخالصة وذلك في الحساب الضمطي (مجلد 3) ، أو في مجال التقنيات ، بفضل نظرية مقاومة المواد ، وهي النظرية التي تقدم صيغاً عملية واقعية ضرورية لبناء الماكينات . وتتابع تطورات نظرية المطاطية حتى أيامنا هذه ولكن بدون تغيير أساسي . ولكن نذكر على كل حال ، أن ج . لافال J. Laval (1956) حصل على نتائج جديدة جداً ، عندما تفحص الجسم المتكون من ذرات مختلفة ، وليس الجسم المتماثل .

ان الجسم الجامد حقاً لا يكون مطاطياً إلا أمام الجذب الضعيف . فإذا تجاوز الجذب حداً ما ، حصلت تشوهات دائمة ، وهذه سميت باللدونة والمطاوعة ، وقد جرت محاولة لتعريف هذه المطاوعة رياضياً انطلاقاً من عدد قليل من المعايير والقوانين (انشتاين ، 1906 ، فون ميزس Von Mises ، 1913) ؛ ودراسه هذه التغيرات في الأشكال سميت بعلم السدفق أو علم التيارات .

rhéologie

وأساس تطور ما يعرف الآن باسم فيزياء الجوامد ، كان في اكتشاف البنية الذرية للجوامد بفضل تشتت أشعة اكس X ، أو انحرافها (فون لو ، 1912) . ومعرفة ترتيب الذرات في البلور ، وانتظام هذا الترتيب أدّى إلى اكتشافات نظرية متعددة . وبالفعل ان بنية خصائص الذرات المعزولة تتغير بفعل تقاربها ، وبفضل دورية ترتيبها . وقد شعرنا بوجود خصائص جديدة أخضعت بدراسات عملية تجريبية واسعة . وأتاحت هذه البحوث تحسين أو حتى إيجاد مواد فتحت ، بفضل إمكاناتها الخاصة الاستعمالية ، الطريق إلى تقنيات عديدة سهلت مثلاً عدداً من التحسينات الحديثة في مجال الالكترونيك . من هنا جاء الاهتمام بفيزياء الجوامد ، وهي أحد الفروع الأكثر نشاطاً في الفيزياء الحديثة . وتعليم هذا الفرع قد انتشر في كل الجامعات الكبيرة ، ويزداد عدد الباحثين المتخصصين في هذه التقنية باستمرار . ومنذ عدد من السنين تخصصت مجلات علمية دورية دولية في هذا المجال بشكل كامل ، رغم ان المجلات القديمة في الفيزياء ما زالت تخصص لفيزياء الجوامد مكاناً كبيراً . وهذه الدراسة الحاضرة تهدف إلى ذكر المكتسبات النظرية الرئيسية ، والتطبيقات التقنية الأكثر أهمية ، فيما يتعلق بمختلف فروع هذا العلم الناشئ (ان أوجهاً مختلفة من هذه الدراسة ، قد تكررت في فصول أخرى ويتوسّع أكبر إنما من منظور مختلف . فدراسة ج . أورسل Orsel حول البنية الذرية للجوامد ، ودراسة ب . مارزين ، وج . لوميزك حول الخصائص الكهربائية في الجوامد ، الفصل 9 من هذا القسم ، ودراسة آ . بوير وآ . هربين حول المغناطيسية ، الفصل 8 ، هي دراسات تستحق الذكر) .

البنية الذرية في الأجسام الجامدة - ان اكتشاف م . فون لو (1912) لانحراف أشعة اكس (X) بواسطة البلورات قد فتح الطريق أمام فرع جديد في العلم : دراسة البنية الذرية في الجوامد . ونذكر أنه ، بحسب التفسير الذي قدمه و . هـ . وو . ل . براغ Bragg ، تعكس السطوح الشبكية في البلور ، ضمة من أشعة (X) ذات طول موجة معين ، بالنسبة إلى زاوية انحدار سميت زاوية براغ ، وقد أتاح قياس هذه الزاوية التوصل إلى تباعد السطوح الشبكية أو انفراجاتها . وأولى نتائج هذه الوسيلة الجديدة في الاستقصاء حول البلورات ، كانت تغير تصنيف الجوامد ، الذي كان معتمداً قبل اكتشاف لو . في الماضي كان يطلق اسم البلور على الجوامد التي كانت أشكالها الخارجية تنم عن تناظر ، وعن تناظر في الخواص ، ولكن نعرف الآن ان الغالبية العظمى من الجوامد ، حتى تلك التي لها شكل خارجي غير محدد ، تتكون هي أيضاً من تجمعات من بلورات صغيرة ملتصق بعضها ببعض ، بدون شكل خارجي متعلق بينيتها . ان الجسم الجامد المتبلر يُعرّف فقط ببنية الذرية . فالكلس المسمى عديم الشكل لا يختلف عن الطباشير الا بضخامة أحجام البلورات . وإذا نظر إلى هذه البنيات وفقاً للسلم اللّوئي فإنها تبدو متشابهة .

وإلى جانب هذه الجوامد الحقة ، هناك جوامد عديمة الشكل فعلاً ، أتاحت أشعة (X) اكتشاف بنيتها : انها أجسام ذات بنية ذرية غير منتظمة ، وقرينة جداً من بنية السوائل ، الا أنها تتمتع بلزوجة كبيرة جداً تجعلها ذات أشكال ثابتة ومستقرة ، خارجياً ، بحيث تشبه استقرارية الجوامد الحقة . ونمط الجوامد العديمة الشكل يتمثل في الزجاج . ان الفرق الكبير هو ان الجوامد الحقة ، عندما ترتفع الحرارة ، يكون هناك انتقال مستمر من حالة الجمود إلى حالة

الميوعة ، في الوقت الذي يتلقى فيه الجامد الصحيح ذوباناً صريحاً . وهكذا أحلت معرفة البنية الذرية للمادة محل الحالات الثلاث التقليدية التي تكون عليها المادة ، حالتين متميزتين : الحالة المشروطة المنتظمة (الجامد المثالي) ، والحالة غير المنتظمة (شكلان متكافئان ، جامد عديم الشكل وسائل ، ثم شكل ذو ثقل نوعي خفيف ، هو الغاز) .

ويتكون البلور من مجموعة من الذرات ، أو باعث ، يتكرر بصورة دورية بفعل انتقالات شبكة جيومترية مثلثة الأبعاد . ويقول آخر يتكون البلور من تراكم زردات متماثلة ذات شكل متوازي السطوح ، ملتصقة بعضها ببعض . ان الطبيعة الجيومترية في هذه المتوازيات السطوح هي التي تصنف وتحدد نوعية البلور ، وكذلك خصائصه التناظرية . وموضوع علم « استكشاف البلور بالراديو » يقوم من جهة على تحديد طبيعة وابعاد الزردة أو الحلقة ، ومن جهة أخرى ، على كشف ترتيب الذرات داخل الباعث الأولي .

والمسألة الأولى يمكن ان تحل دائماً ، عندما يكون بين أيدينا بلور معزول حتى ولو صغر حجمه جداً (بعض مئات من الملمترات) . في حين ان المسألة الثانية هي مسألة صعبة ليس لها حل عام ، أوتوماتيكي . وبالفعل ، بين و . ل . براغ (1926) ان الثقل النوعي الالكتروني ضمن الزردة يمكن ان يتفكك إلى سلسلة من الموجات الجيوبية ذات الثقل النوعي الذي تكون حقه موازية لحقب أسر من السطوح الشبكية الشكل في حين تناسب ضخامته مع الجذر التربيعي للطاقة المعاكسة في السطح الشبكي الموازي . ولكن من أجل إعادة تكوين التوزيع الالكتروني داخل الزردة ، يتوجب أيضاً معرفة المراحل المتعلقة بهذه الموجات : ولكن هذا المعطى لم يحصل عن طريق التجربة . ان العمل الدؤوب الذي قام به علماء البحث في البلور بخلاف الخمسين سنة الأخيرة ، كان هدفه التغلب على هذه الصعوبة الأساسية بالنسبة لبنيات أكثر فاعلية تعقيداً .

من الناحية النظرية ، كان التقدم ثابتاً . وقامت الطريقة الأولى ، المسماة طريقة التجربة والخطأ (براغ 1920) ، على تصور بنية ممكنة توحي بها معطيات أشعة اكس ، كما تقوم على طرق أخرى فيزيائية ، من أجل احتساب الخط البياني للانحراف (وهو أمر ممكن دائماً) ، ثم مقارنة هذا الانحراف بالنتائج التجريبية ، ثم أخيراً تحسين هذا الخط البياني بصورة تدريجية من أجل تخفيض الفرق بين زخومات الانحراف المحسوبة والمرصودة . ان الطريقة الأولى القوية ، التي تبقى أساسية دائماً هي طريقة سلسلة باترمون (Patterson 1928) . هذا الإيجاز أو المختصر لا يستعمل الا معطيات التجربة ، وزخومات الانعكاسات المختلفة ؛ ولكن يمكن الحصول على وظيفة معقدة (دالة) على البنية ، وكذلك فإن جهود العديد من المنظرين هدفت إلى استخلاص البنية ، « من دالة باترسون » . ويكون الحل ممكناً بدون لبس في حالات خاصة ، مثلاً عندما تحتوي الزردة الواحدة على ذرة واحدة ثقيلة موجودة بين ذرات خفيفة ؛ وهذه الحالة مفيدة لانها هي حالة المركب العضوي الذي نجحت فيه عملية ادخال ذرة معدنية في كل جزيء . وقد تم البحث حديثاً ، من أجل فهم أفضل لشروط النجاح بالنسبة إلى الطرق الموصوفة بانها مباشرة ، أو طرق تحديد البنية ؛ والتقدم الملحوظ الذي حققه كل من : ويلسون Wilson ، 1945 ، وكارل

Karle وهوتمان Hauptman 1951 ، وبرتوت Bertaut 1959 وغيرهم كان ملحوظاً .

وبالمقابل تم تحسين التقنية التجريبية بصورة تدريجية . فاستبدلت غرفة البلور الدائرية والتي وضعها براغ سنة 1920 ، بغرفة ويسنبرغ Weissenberg سنة 1928 ، ثم بغرفة التراجع أو التمايل التي وضعها برجر Buerger سنة 1941 ، ثم ريتغراف (rétigraphe) جونج Jong لسنة 1958 .

ان الحسابات الطويلة جداً تجري الآن بواسطة الحاسبات الأمر الذي أتاح استعمال طرق كانت في الماضي صعبة . وأخيراً وضعت حديثاً (بواسطة وستر Wooster وغي Gay ، 1960) آلات تحريف أوتوماتيكية خالصة تراكم كل المعطيات المتاحة من أجل حساب البنية الذرية دون تدخل المجرّب .

وقد أتاح هذا العمل تحديد بنيات متزايدة التعقيد منذ الاكتشافات الأولى التي حققها كل من و. هـ. و. ل. براغ : NaCl ، ماس ، السخ . 1913) حتى التوصل إلى أول بروتين (الميوجلولين : بيروتز Perutz 1960) . وهكذا تم الانتقال في أقل من خمسين سنة من البلورات التي تحتوي على ذرة أو ذرتين في الزرّة ، إلى بواعث ذات عدة ألوف من الذرات .

ونشير إلى بعض المراحل الوسيطة المهمة . في سنة 1952 وضح و. ل. براغ بنية السليكات ويتّين كيف ان هذا الاكتشاف يجذّد بصورة كاملة كيمياء هذه الأشياء . ان البلورات العضوية قد فحصت في سنة 1930 (بنية النفثلين من قبل روبرتسون Robertson) وهكذا تم العثور مباشرة على الخواص السداسية الأضلاع من الكربون التي استنتج الكيميائيون وجودها مع النوى البنزينية . وقررد . هودكين - كروفوت Hodgkin-Crowfoot سنة 1941 بنية البنسلين ، قبل ان يعثر الكيميائيون على صيغته المتطورة . ووجدل . بولنغ Pauling البنية الحلزونية في البروتينات ، وحصل تقدّم ضخم في بنية متعددات الأم ، وخاصة الخيوط النسيجية بفضل أستبري Astbury ، 1930 - 1940 . وفي الوقت الحاضر تم فحص البنيات المعروفة في مجملها بشكل يتيح قياس المسافات الموجودة بين الذرات ، وزوايا الارتباطات بدقة . وفي هذا معطيات أكيدة عليها يمكن بناء نظريات الارتباطات بين الذرات ، أي المركب الكيميائي (بولنغ Pauling) . وخلال الفترة الواقعة بين 1925 و 1950 عُرفت تقريباً كل بنيات مراحل أو حالات الخلاط المعدنية : وهذه الحالات بوجه عام لا تتوافق مع تركيب معين ، وينتهي البلورية هي إذاً مميزها الرئيسي . وهذا يعني أهمية الأعمال حول البلورات ، في المجال التعديني ، وبصورة خاصة أعمال وستكرين Westegren وفراغنم Phragmen سنة 1925 ، وأعمال هاغ سنة 1930 ، ولافس Laves سنة 1932 الخ . ووضع هيوم روثيري Hume Rothery سنة 1934 تصنيفاً للمراحل المعدنية أمكن تبريره فيما بعد بواسطة النظرية الالكترونية حول المعادن .

ولجأ الكيميائيون وعلماء المعادن بشكل متزايد إلى استعمال أشعة X ، خاصة في الحقبة الواقعة بين 1930 و 1940 . وأتاحت طريقة التحاليل بالراديو المطبقة على مسحوق بلوري معرفة ماهية المركبات ، من خلال خط انحرافها .

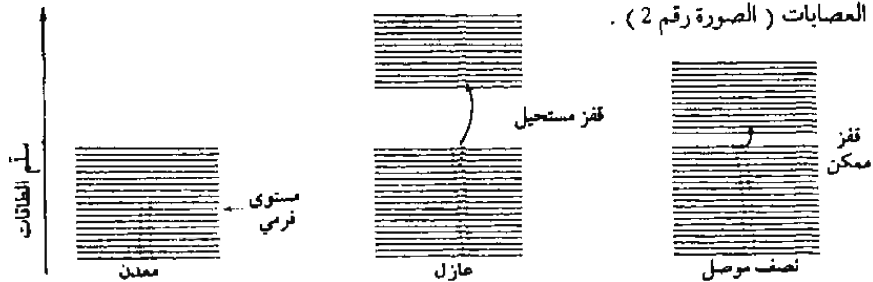
وانتشرت الطريقة التي أدخلها هاناولت Hanawalt ، ورين Rin ، وفريفل Frevel سنة 1938

بفضل مجموعة الخطوط البيانية المعيارية ، وهي مجموعة أعدتها الجمعية الأميركية لريادة المعادن . في معدن مؤلف من بلورات ذات بنية معروفة ، يهتم عالم المعادن « بالنسيج » أي بحجم البلورات الأولية ، وبالكيفية التي تتبعها هذه البلورات في توجيهها (بولاني Polanyi ، 1928) ، وهذا ما هو من نتائج المعالجات الميكانيكية (مثل التصفيح والمد) وكذلك بفعل المعالجات الحرارية . وبعد الكشف على هذه النسيجية يعطي انحراف أشعة X للمعدن الوسيلة في فهم وبالتالي السيطرة على المعالجات التي يخضع لها هذا المعدن من أجل الحصول على المواصفات المطلوبة .

وبعد معرفة ترتيب الذرات في البلور من جهة ، ومن جهة أخرى ، بعد معرفة تركيب الذرة المعزولة مع نواتها وما يرافقها من إلكترونات ، أراد المنظرون التنبؤ بالتغيرات التي تصيب هذه البنية الالكترونية في الذرات ، التغيرات العائدة الى تقاربها المنتظم داخل البلور . ان الطبقات الالكترونية الداخلية قلما تتأثر ، وتبقى في المقاربة الأولى كما كانت عليه في الذرة الحرة . وفي المقابل يكون الفرق كبيراً بالنسبة إلى الإلكترونات الخارجية .

وهناك دراسة أولى قام بها سومر فيلد Sommerfield سنة 1930 طبقت على مجمل الإلكترونات ذات القابلية كقابلية بلورة معدنية المعادلات المطبقة في الميكانيك التارجيحي ومعادلات احصاء فرمي - ديراك . واستنتج سومر فيلد أن الإلكترونات ذات القابلية المعدنية ، يجب ان تتوزع على سلسلة من المستويات المحصورة المتطابقة مع سلسلة من الطاقات المحددة ، بشكل انه في نفس المستوى لا يمكن العثور ، في الأكثر الا على إلكترونين مع سبينات متضادة . وهذه القاعدة نفسها (بولي ، 1925) هي التي أتاححت توزيع الإلكترونات على الطبقات المتتالية في الذرة المعزولة ، كما شملت هذه القاعدة مجمل الذرات في بلورة واحدة .

وفيما بعد تم تحسين النظرية مع الأخذ بالحسبان الحقل الكهربائي الجامد أو الثابت الذي توجده الشوى الموجبة في الذرات المصفوفة بشكل دوري داخل البلورة (ف . بلوش 1928) . وكانت النتيجة الأساسية ان المستويات الممكنة حيث يمكن ان تتركز الإلكترونات لم تعد متسلسلة بشكل منتظم بل أصبحت تتجمع بشكل عصابات تفصل بينها عصابات من الطاقة المحظورة ، ولم يعد لأي إلكترون ان ينتشر داخل البلورة عندما تكون طاقته محصورة ضمن هذه العصابات (الصورة رقم 2) .



صورة 2 - رسيمة لقصابات ذات مستويات طاقةية ممكنة ، تحلها إلكترونات في معدن أو في عازل أو في موصل نصفي .

إن دراسة حالة الإلكترون في البلورة لا تتحدّد فقط بقيمة طاقتها بل أيضاً بالسهم الذي يمثل كمية الحركة .

ونميز كل الكترون من المجموعة بنقطة في المساحة المسماة فضاء العزم ، الذي هو طرف أخير في السهم الممثل لكمية الحركة ، والمرسوم انطلاقاً من أصل مشترك . هذا الفضاء مكّم أي أنه يقسم إلى جيوب صغيرة لا يمكنها أن تحتوي إلا على نقطة تمثل حالة الكترونين (ذوي سبينات متضادة) .

ومجمل النقاط المتوافقة مع كل من الحالات الممكنة ، في العصبية الأولى ، موجود ضمن متعدد أوجه ، يسمى منطقة بريلوين Brillouin (1930) ، يتعلق شكلها بالبنية البلورية للمعدن . ومجمل الحالات المشغولة فعلاً ، محصور بما يسمى مساحة فرمي (1932) .

ومع البنات الذرية في البلورة ، يشكل هذا التصوير لحالات الإلكترونات أسس نظرية الجوامد . وتلقّت « نظرية العصبات » هذه التي تنطبق على كل الجوامد المعدنية أو غير المعدنية ، تأكيد وقائع تجريبية عديدة . أن مسألة تحديد سطح فرمي ، وبنات العصبات هي إحدى المسائل المهمة جداً في فيزياء الجامد ، والكثير من القياسات التجريبية قد جرت ضمن هذه الغاية .

الخصائص الحرارية للبلورات - أن الحرارة النوعية هي نتيجة التحرك الحراري في الذرات وتحولها بتحول وتغير درجة الحرارة (راجع أيضاً حول هذه المسألة ، الفصل السابع) . أن المقاربة الأولى تقوم على النظر إلى الذرات باعتبارها معزولة ، مما يؤدي إلى التفسير النظري لقاعدة دولون Dulong وبيتي Petit العملية ، ضمن المفهوم الكلاسيكي . وشرح انشتاين سنة 1907 ، بعد ادخال مفهوم الكنتا ، سبب انعدام الحرارة الذاتية في الجوامد ، عند حالة الصفر المطلق . ولكن لما كانت الذرات مرتبطة ببعضها البعض لتشكل البلورة ، فهناك تفاعلات في تحرك الذرات المتجاورة . واستطاع بورن Born وفون كارمان Von Kármán سنة 1912 تحليل هذه التفاعلات وبيّن بأن الحدث الأولي هو انتاج موجات تحرك حراري تمتاز البلورة ثم تنعكس على حدودها أو أطرافها . واستطاع تصنيف هذه الموجات ، بعد تكميمها بشكل فونون ، ثم قياس طاقتها . وحسب ديبية Debye انطلاقاً من نموذج بسيط ، تغيرات الحرارة النوعية بتغير درجات الحرارة (1912) ونظريته قد أثبتتها التجربة . أن الدراسة العملية للحرارة النوعية ، في الدرجات الحرارية الدنيا جداً ، مفيدة للغاية (مساهمة الإلكترونات في توصيلية المعادن) .

أن التوصيلية الحرارية في الأجسام العازلة قد درست بفضل مفهوم الفونون وبفضل انتشارها في الأجسام الصلبة (ديبية ، 1941 ، وبييرس Peierls 1929 ، وكليمانس Klemens 1951) . ومن جهة أخرى أمكنت دراسة موجات التحرك الحراري ، بصورة تجريبية بفضل انتشار أشعة X (لافال Laval 1940) . وأخيراً رُبط التمدد الحراري بعدم الانسجامية في حركات تذبذب الذرات (غرونيسن Gruneisen 1926) .

الخصائص الكهربائية في الجوامد - إنّ أبسط هذه الخصائص هي التوصيلية . وتحت تأثير

فرق الكمون ، تسلك الجوامد سلوكاً متغيراً ، كما ان مقاومتها تختلف بنسب ضخمة ، انطلاقاً من العازلات شبه الكاملة وصولاً إلى أفضل الموصلات . وهناك نظرية أولى قد أتاحت التثبت من الفرق بين العازل والموصل . في العازل ترتبط الالكترونات المحيطة بذرة من الذرات (الجامد المؤيّن ، NaCl ؛ م . بورن ، 1930) أو بذرتين متجاورتين (جامد مزدوج الصلاحية ، كالماس) ولا تستطيع ان تتحرك من مكانها . ولو تحت تأثير حقل كبير خارجي . وبالعكس في الموصل ، يوجد الكترونان حُرّان يتقلان ، أي ينقلان التيار (حالة المعادن) . ولكن النظرية الكلاسيكية حول الالكترونات الحرة (درود 1909 Lorentz 1910) ، لم تستطع ان تفسر ، كمياً ، المقاومة وتغيراتها ، مع تغير درجات الحرارة ، ولا أن تنبئ عن وجود أجسام وسيطة ، تسمى الموصلات النصفية . انها النظريات الكانتية ، وبصورة رئيسية « نظريات العصبات أو الحزم » هي التي مكنت من توضيح الوضع (أ . هـ . ويلسون 1930) .

ان الجامد يكون موصلاً عندما تكون الكترونات التكافؤ لا تحتل كل المستويات العامة ضمن العصبه : عندها يقال ان العصبه ليست ممتلئة . وعند درس أثر مطلق حقل خارجي ، أمكن حساب المقاومة في المعدن . وهذا المعدن يكون موصلاً إلى أقصى حد إذا كان كاملاً إلى أقصى حد ، لكن التشويشات في بنيتها تحد من توصيلته . وتزداد المقاومة بارتفاع درجة الحرارة ، التي ترفع من تذبذب الذرات وتزيد أيضاً بزيادة كل شيء يمكن أن يحدث شرجاً أو تمزقاً ثابتاً (ماتيزين 1925 Matthiesen) ؛ كما ان المعادن المستعملة كموصلات يجب ان تكون نقية للغاية (النحاس الالكتروليزي : اي المجمع بواسطة التحليل المائي) . ان التوصيلية الحرارية قد فُسرَت هي أيضاً وكذلك القانون التجريبي الذي وضعه ويدمان وفرنر Weidemann - Franz الذي يربط التوصيلية الحرارية بالتوصيلية الكهربائية .

ان المظهر النظري لظاهرة التوصيلية العليا قد بحث في غير هذا المكان (الفصل التاسع) . ومن وجهة نظر عملية تعتبر الأجسام الجيدة التوصيل ذات أهمية كبيرة لمو تحققت بدرجات حرارة يمكن الوصول إليها . ويمكن البحث المنهجي عن المواد ذات النقطة الحساسة المرتفعة إلى أقصى حد من الوصول إلى درجة حرارة 17°K (كلفين) ، وأخيراً يمكن استخدام إمكانية الحصول على تيارات ذات زخم مرتفع ، بصرف طاقة ضعيفة جداً من أجل استحداث حقول مغناطيسية عالية . ولكن للأسف تتوقف التوصيلية العالية جداً ، عموماً في حقول مغناطيسية ضعيفة نوعاً ما . ومع ذلك أمكن العثور حديثاً على مركب هوموليدينور الأنديوم Molybdénure d'indium يمكن من الحصول على حقل مغناطيسي من عيار 80 000 أورستيد Oersteds تحت 18°K دون صرف يذكر في الطاقة .

وبحسب نظرية العصبات تتكون العوازل من بلورات تكون عصبتها « الطاقوية » مملوءة تماماً ، أي أن كل الحالات الممكنة في هذه العصبه ، تشغل بالكترونات ذات صلاحية ، ولكن الالكترونات لا تستطيع ان تغير عصبتها تحت تأثير الحقل المطبق لأنها لا تستطيع الحصول على المكمل من الطاقة الضرورية للقفز فوق العصبه المحظورة . ومن جراء هذا ، لا يكون للحقل أي مفعول ، وحيث انه لا يوجد تيار في غياب الحقل ، فإنه لا يوجد تيار أيضاً عند وجوده ؛ عندئذ يقال ان الجسم عازل كامل .

ان الخصائص ذات الكهربية المزدوجة في الموازل مفيدة جداً نظرياً وعملياً . ان نظرية اتجاه القطبين (ديبه ، 1912) قد استخدمت لشرح سلوكية الجوامد تحت تأثير الحقول ذات التوتر المرتفع (خسارة كهربية مزدوجة تتيح تسخين العوازل) وقد وجد في هذا المجال مواد ذات خصائص فريدة . من ذلك ان الحديديات المكهربة يمكن ان تستقطب عفويًا وتحصل في بعض الحالات على ثابت مزدوج الكهربية ضخم (ملح روشل ، فازاليك ، Vasalek ، 1921 ؛ تينانات الباريوم titanate de baryum ، فون هيبيل Von Hippel ، 1943) وأتاحت البيزو الكهربية Piezo électrique (الكهر إجهادية) تحويل التشوهات الميكانيكية إلى إشارات كهربائية ، ومن هنا استعمالها ككاشفات للموجات المطاطية أو للضغط (الكوارتز : ج . وب . كوري ، 1880 ؛ تينانات الباريوم) . وبالعكس تستطيع البيزو الكهربية ان تشكل مولدات فوق صوتية انطلاقاً من ذبذبات كهربائية .

وقد أتاحت النظرية تفسير الخصائص الممتازة الموجودة في الموصلات النصفية (مثل السيليسيوم والجرمانيوم) التي اتخذت أهمية متزايدة في تقنيات متنوعة جداً . وتمتلىء عصابة طاقاتها ، كعصبة الموازل ، ولكنها تكون مفصولة عن العصبة اللاحقة ، عصابة الحالات الممكنة ، بفرجة أو فتحة طاقوية ضعيفة جداً يمكن في بعض الحالات ان تقطعها الالكترونات .

أ - هذا القطع يمكن ان يتحقق بفعل التحرك الحراري . ان التوصيلية المتزايدة ، أسياً بتزايد درجة الحرارة وكذلك في الموصلات النصفية ، يمكن ان تُستخدَم من أجل قياس درجات الحرارة أو مراقبتها (المقاومات الحرارية) ؛

ب - ويمكن ان تتحرر الالكترونات بفعل امتصاص الطاقة الضوئية : وهذه الخاصة تستعمل في بعض الخلايا ؛

ج - بإضافة شوائب بكميات ضعيفة جداً (أقل من 10) ، يمكن أيضاً تمرير الكثرونات في العصبة الحرة (توصيلية عن طريق الالكترونات من نمط n) . وهناك شوائب أخرى تتيح خلق فراغات في العصبة المملوءة نظرياً فتحدث توصيلية سببها ما يسمى بالثقوب (نمط p) . وتركيم منطقة (n) مع منطقة (p) ضمن بلورة واحدة (مثل السيليسيوم أو الجرمانيوم) يعطي « التقاء » مزدوذاً بخصائص كهربية مفيدة للغاية . ومقاومة هذا الالتقاء مرتبطة باتجاه التيار . فالالتقاء يتيح تصويب التيارات الصناعية ، أو التقاط التيارات ذات التواتر العالي .

وبواسطة الالتقاء بين ضمن نفس البلورة نحقق ما يسمى بالنترانزيستور الذي أحدث تقدماً ضخماً في مجال الالكترونيات . واللقاء موصلات نصفية من نمطين يمكن ان يشكل بطارية ضوئية تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية .

واستعمال الموصلات النصفية قد جدد في المفعول الكهربائي الضوئي . والبحث المنهجي عن أفضل أزواج المواد على أثر اكتشاف خصائص التلورور البسموثي tellure de bismuth (يولي Ioffé ، 1940) قد أتاح التوصل إلى انتاجية من عيار 10% في قلب الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية ، من منابع من عيار 200 إلى 300 درجة مئوية ، ومع 0° مئوية

(وهذه طريقة جديدة في استخدام الطاقة الشمسية) . ان المفعول المعاكس أو مفعول بلتيه Peltier قد استخدم ، مع نفس المواد كمصدر للبريد انطلاقاً من الطاقة الكهربائية (صنع البرادات) .

الخصائص المغناطيسية في الجوامد : تحت تأثير الحقل المغناطيسي يكون سلوك المادة متنوعاً جداً ، مما يتيح تصنيف الأجسام إلى ثنائية المغناطيسية وضعيفة المغناطيسية ، وحديدية المغناطيسية ، وهذه الحالة الأخيرة لا يمكن أن تظهر إلا في الجمودية .

وتتعلق الحديدية المغناطيسية ، ليس فقط بالخصائص المغناطيسية الموجودة في الذرات بل تتعلق أيضاً بترتيبها المتبادل أي بالبنية الذرية في المادة . ان ب . ويس (1907) Weiss هو الذي وضع نظرية الحديد المغناطيسية حين أدخل مفهوم « الحقل الجزيئي » . وهذه النظرية قد تجددت فيما بعد بفضل الميكانيك الكانتني (الكمي) . في حين كان هناك ظاهرتان أخريان مهمتان ، المضاد الحديدي المغناطيسي والمغناطيسية الحديدية ، متوقعتان نظرياً ، ثم توضحتا تجريبياً . وعلى موازاة التقدم النظري تم تحضير العديد من المواد المغناطيسية الجديدة ذات الخصائص المتنوعة جداً : مثل معادن ذات نفاذية كبيرة جداً (Permalloy-Super, malloy مزيج من النيكل والحديد ، مزائج الحديد المؤكسدة من صيغة MO, Fe_2O_3 وفيها يكون M أيوناً معدنياً ثنائي التكافؤ) والتي هي مغناطيسية وعازلة بأن واحد .

ان هذه المركبات الحديدية ذات أصناف متنوعة : بعضها يتمتع بنفاذية كبيرة وفيه القليل القليل من الخسائر الخلفية مما يتيح استعمالها في محولات التيارات ذات التوتر العالي . وهناك مركبات أخرى ، تتمتع بخلفية قوية جداً مما يتيح بناء مغناطيسات دائمة وقوية وذات أشكال متنوعة جداً . وهناك بعض مركبات الحديد ، من التي ليس لها إلا حالتان من حالات المغنطة ذات الاتجاه المعاكس ، والتي يمكنها ان تشكل ذاكرات في آلات الحساب . وقد تم أيضاً اكتشاف بلورات شفافة ومغناطيسية ، وحجارة ذات تربة نادرة تستعمل في المازرات (أي المكبرات الاشعاعية) .

الخصائص البصرية في الجوامد : ان الخصائص الابصارية في الجوامد تتعلق بتفاعل الموجات الكهرومغناطيسية مع الالكترونات أو الأيونات . وبالنسبة إلى المعادن ، تكون الالكترونات الموصلة هي التي تحدث الامتصاص وتحدث القدرة العاكسة التي هي من خصائص اللمعة المعدنية (درود 1900 ، Drude) . في الجوامد المؤينة ، ترتبط رقعة امتصاص تحت الأحمر بحركة الأيونات المتعاكسة للإشارات بالنسبة إلى بعضها البعض ، وتواتر هذه الرقعة يُحسب انطلاقاً من ثوابت ممتدة من البلور (الأشعة المتبقية ، روبنس 1902 ، Rubens) .

وعندما ندخل عيوياً في بلورة مؤينة شفافة مثل الهالوجين القلوي (عن طريق التسخين في بخار المعدن ، أو بواسطة الاشعاعات المتنوعة) يتلون البلور . وتتواجد رقعة امتصاص ، نتيجة

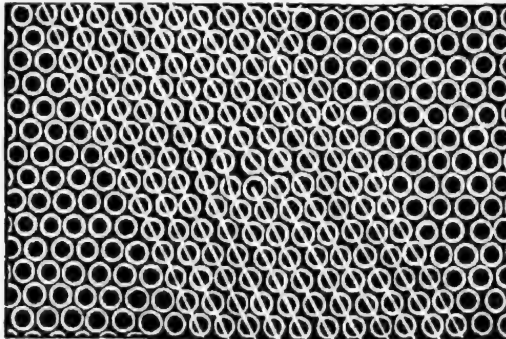
النقرات الذرية المتنوعة : ان المراكز الملونة قد درست كثيراً ، هكذا مثلاً المركز F يتكون من نقص سيلي اختطف الكترونات الخ ، (بوهل Pohl ، 1930) .

ان الكثير من الجوامد المشعة بضوء ذي موجة قصيرة جداً تعود فتصدر موجات ذات أطوال أطول ، اما مباشرة (مثل حالات التشيع) أو بصورة لاحقة مثل حالات الفسفرة .

وقد تبين ان الشائبة ذات النسبة الخفيفة ضرورية من أجل تنشيط الجامد . وقد عمدت دراسات عديدة على توسيع الفهم النظري لهذه الظاهرة ، وأدت إلى تطبيقات عملية مهمة جداً (مثل البلورات اللماعة ، من أجل احتساب الجزئيات أو الفوتون في الطاقات الكبيرة ، والجاومد المنورة كهربائياً : دستريو Destriau ، 1935 ، الخ) .

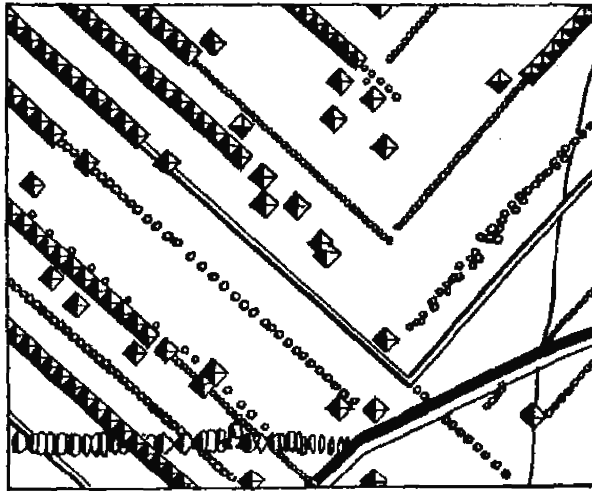
الخصائص الميكانيكية في الجوامد : رغم ان الجوامد وخاصة المعادن تستعمل في أغلب الأحيان بسبب خصائصها الميكانيكية ، فإن هذه الخصائص هي من بين الأشياء الأكثر صعوبة في التفسير نظرياً ، وما تزال حتى الآن بعيدة عن الحصول على نظرية تمكنا من الاطلاع ليس فقط على كل الخصوصيات الملحوظة ، بل أيضاً على الوقائع العامة حتى البسيطة منها . وكذلك الدراسات في هذا المجال تتابع على صعيدين متوازيين ، محاولات نظرية خالصة ، جرت في اتجاهات مختلفة ، ودراسات تجريبية أو نصف تجريبية تهدف إلى تحسين المواد أو المعادن الموجودة .

والسبب الرئيسي في الصعوبة الملتقاة يكمن في ان النموذج البسيط للبلورة الكاملة هو غير ملائم إطلاقاً ، وغير مؤهل للانصاح عن الخصائص الميكانيكية الأكثر بدائية ومنها مثلاً قيمة شحنة انقطاع بلورة واهية أو الحد المطاطي في معدن طري . من المعلوم الآن ان عيوب البنية تلعب دوراً أولاً في تحديد الخصائص الميكانيكية الموجودة في مرتبة أدنى من خصائص البلور الكامل . وهذه العيوب يركز عليها النظريون ، ونموذج العيب الأكثر استعمالاً هو التمزق أو التشتت وهي خاصية أدخلها تايلور Taylor ، واوروان Orowan وبورجرس Burgers سنة 1930 .



صورة 3- التمثيل الموجز للتشتت ضمن ترتيب منتظم ذي بعدين . تصوّر الذرات بفقايع منتظمة نعيم على سطح الماء ومتلاصقة بعضها مع بعض في ترتيب سداسي الأضلاع منتظم .

تحتوي الشبكة البلورية على « تشنت زاوي » عندما يثقبها نصف سطح ذري (صورة رقم 3) وعندما تكون الذرات المجاورة مزاحة قليلاً من مكانها بحيث تسد الفراغ جزئياً ، ويشكل طرف نصف السطح خط التشنت . وليس التشنت الزاوي النمط الوحيد الممكن في التشنت (التشنت اللولبي) . وقد ثبت وجود هذه التشنتات ، الذي توقعه في بادئ الأمر المنظرون ، بفضل عدد كبير من المشاهدات . ويمكن تعداد هذه التشنتات ضمن البلورة ، ثم تحديد شكلها ، ثم تتبع حركاتها عند تشوه البلورة ، وبفضل طرق صور الهجوم التي تكشف تقاطع خطوط التشنت مع السطح (صورة رقم 4) ، بفضل طرق تلوين الخطوط داخل بلورة شفافة (ميتشل Mitchell ، 1955) ، وأخيراً بفضل الصور المحصول عليها بواسطة الميكروسكوب الإلكتروني أو بواسطة أشعة اكس (X) (هرش Hirsch ووهلن Whelan ، 1956 ؛ لانغ Lang ، 1958) .



صورة 4- تقاطع السطح في بلورة من فلورور الليثيوم ، في خطوط التشنت المكتشفة بفضل صور الهجوم .

ومن بين العيوب الأخرى التي درسها المنظرون نذكر الذرات الناقصة أو الثغرات ، والذرات المعيوبية ؛ وهذه الأخيرة قد تتجمع أحياناً حول خطوط التشنت (فتسمى غيوم كوتريل Cottrell) .

من وجهة نظر نصف - تجريبية جرى البحث في ربط الخصائص الميكانيكية للمعادن ، بعد قياسها بدقة ، ببنيتها أو بتركيبها فيما يتعلق بالخلائط ، تبعاً للمعالجات الحرارية أو الميكانيكية . ونتائج هذه الدراسات المنهجية قد ساعدت بشكل ضخم على التقدم في الإفادة إلى أقصى حد من هذه المعادن ، وهو أمر ضروري لسد الاحتياجات الجديدة لدى التقنيين : معادن مقاومة وخفيفة بآني واحد من أجل الطيران ، معادن تقاوم درجات الحرارة المرتفعة ، تستعمل في الماكينات الحرارية العاملة في المفاعلات مثلاً ، معادن تقاوم التآكل ومعادن تقاوم الإشعاعات الذرية كما هو الحال في البطاريات ، الخ .

يتطلب اعداد معادن ذات نوعية جيّنة مراقبة دائمة بواسطة الطرق الأكثر رهافة (مثل أشعة اكس X) ، أو الخصائص الميكانيكية المغناطيسية ، أو المقاييس التمددية : مثل ميزان شيفنار (1920 ، Cgevenard) ويمكن عندها نحسين المعالجات المتزايدة التعقيد والضرورية من أجل اعطاء المعدات سلسلة المواصفات المطلوبة .

ان النظرية ، وان لم تمكن من اكتشاف أساليب جديدة قد وضحت وبالتالي قد حسنت المعالجات المعروفة بشكل عملي تجريبي : التحول الفولاذي التركيب ، سقي الفولاذ ،التصليب البنيوي للخلائط الخفيفة (المكتشف من قبل ويلم Wilm سنة 1909 على معدن الألمينيوم الصلب (الدورالومين)) .

وبالمقابل ما تزال بعض الظواهر المهمة من الناحية العملية مستعصية على التفسير النظري الكامل . من ذلك مثلاً حالات تعب المعادن ، أو انكسار المعدن تحت تأثير الضغوطات المتتالية ، وأخيراً مطاوعة المعادن التي تبدأ بتشويه فيها تحت تأثير ضغط دائم ولمدة من الزمن (وهي دراسة بدأ بها اندراد Andrade سنة 1911) .

في حين لم تقدم صناعة التعدين بالنسبة إلى الحديد والبرونز طيلة عدة عشرات من القرون ، الا ببطء ، ويشكل تجريبي خالص ، أدى ادخال الطرق العلمية إلى اختصار هذه التلمسات بشكل ضخم . من ذلك مثلاً ، بالنسبة إلى الألومنيوم ، لم يدم التطور أكثر من خمسين سنة ، وفي بضعة سنوات أمكن حلّ مسائل أثارها استعمال المعادن الجديدة - مثل الاستعمالات التي أدخلتها الصناعة النووية - ومن هذه المعادن الجديدة الأورانيوم والزيرونيوم والنيوبيوم ، الخ .

الفصل الخامس

إبصارية الضوء المرئي

تذكير بالتطور السابق - إن علم البصريات في القرن العشرين كان واقعاً في أزمة . فهذا العلم أوجد من أجل دراسة الظواهر الضوئية : الرؤية ، الضوء ، الألوان والصور وكذلك المعدات المرتبطة بها .

وطيلة أكثر من ألفي سنة كان الغرض الأساسي من علم البصريات هو البحث عن عملية الرؤية . وقد حلت هذه المسألة في بداية القرن السابع عشر ، بفضل فرضية وجود « مضغة » (شيء) منتشر صادر عن الأشياء المضئية أو المضاعة باتجاه عين الرائي ، ووجه علم البصريات اهتمامه الأساسي نحو البحث عن طبيعة هذه المضغة ، وهذا ما سمي بالبحث عن « طبيعة الضوء » . وكانت هنا مسألة إبصارية خصوصية ذاتية ؛ الشعاع أو المضغة التي كانت تحدث الرؤية ، هل كانت هي العامل الوحيد القادر على التأثير في العين ، وهل كانت العين هي الكشاف الوحيد الذي يكشف هذا العامل الخارجي ؟ هذه المسألة كانت الموضوع الأساسي في علم الإبصار الفيزيائي .

ولكن في السنوات الأولى من القرن 19 ، قامت ملاحظتان بزعزعة أسس علم الإبصار الكلاسيكي . « فالشعاع » القادر على التأثير في العين ، يملك أيضاً تأثيراً حرارياً يظهر في ميزان الحرارة ، ويغير كيميائياً بعض المواد مثل نترات الفضة التي تسود تحت تأثير الإشعاعات ذات المظهر الأزرق أو البنفسجي .

فضلاً عن ذلك ان نحن نقلنا ميزان الحرارة على طول الطيف الشمسي ، فإن الأثر الحراري يتصاعد من البنفسجي نحو الأحمر ، وبشكل خاص إلى أبعد من أقصى الأحمر . وكذلك الأثر الكيميائي (أو الأثر « الاكتيني ») على املاح الفضة يزداد من الأحمر باتجاه البنفسجي ويستمر إلى أبعد من البنفسجي الأقصى . واستنتج من ذلك وجود تحت الأحمر وفوق البنفسجي وعند ذلك جرى الكلام عن ضوء غير مرئي أو عن ضوء أسود .

وطيلة أزمان بعيدة ، لم يلاحظ أحد أن هذه الاكتشافات قد غيرت بشكل عميق دور

البصريات . فليس فقط ان العين لم تعد هي الكشاف الوحيد عن الضوء ، ولكن أيضاً أثبت وجود ضوء غير قادر على التأثير على العين . ووظيفة هذا العضو بالنسبة للضوء أخذت تفقد قيمتها بصورة تدريجية .

وبذات الوقت ، ومن أجل تفسير بنية الضوء تم استبدال النظرية الجسيمية بنظرية الذبذبات التي تعتبر الضوء وكأنه مؤلف من موجات مطاطة تنتشر في مائع خاص واقتراضي هو الأثير . وادى توسيع حقل الاشعاعات غير المرئية ، واكتشاف الموجات الكهرمغناطيسية واكتشاف أشعة اكس ، وبصورة تدريجية ، إلى تصور اطار عظيم من الموجات التي تتسلسل أطوال موجتها من العديد من آلاف الكيلومترات إلى بعض أجزاء المليار من المليمتر (أنظر الفصل التاسع) . ان الأشعة القادرة على التأثير في العين البشرية تدخل ضمن هذا المجمع ، الا أنها لا تمثل إلا جزءاً يسيراً جداً منه ، وهي التي يتراوح طول موجتها بين (0,76) إلى (0,38) ميكرون . وفقدت دراسة طبيعة الضوء ، ودراسة الظواهر الإبصارية هكذا صفتها الخصوصية التي كانت لها حتى بداية القرن التاسع عشر ، ودخلت ضمن الحقل الواسع حقل الكهرمغناطيسية .

ولم يعد لعلم الإبصار الفيزيائي ، المقصور على الموجات التي تؤثر في العين وحدها ، من سبب يبرر وجوده ؛ إذ كان لا بد من دراسة طبيعة وخصائص هذا المجمع الكبير الذي يهْمُ كل الفيزياء .

بنية علم البصريات في مطلع القرن العشرين - الواقع انه بنوع من الجمود ، في بداية القرن العشرين ، استمر الكلام الكثير عن علم البصريات ، بل وعن عدة اشكال منه . والبصريات الجيومترية ، كعلم رياضي خالص ، ترى ان الضوء يتألف من أشعة جيومترية مؤهلة للانعكاس وللانكسار أو الانحراف ، دونما اهتمام بطبيعته الفيزيائية . ورغم ان بعض التجارب حول التداخل ، والتشتت والتجمع أو الاستقطاب قد بينت انه لا يمكن اعطاء الأشعة الجيومترية وجوداً فيزيائياً حقيقياً ، فقد تابع علم البصريات الجيومترية تقدمه . وأدت بساطته المختصرة بالفعل إلى عرضه للظواهر الضوئية عرضاً تعليمياً ميسراً . فضلاً عن ذلك ، لقد استمر يتحكم بالدراسة النظرية لمشاريع أدوات الإبصار ، حتى جاءت بعض الظواهر ذات الطبيعة التذبذبية تدحض صوابية المبادئ المفترضة والمقبولة .

ومن منظور مختلف جداً تخصص علم البصريات الفيزيولوجي ، بشكل خاص ، بدراسة العين ، وعملية الرؤية والتشويه البصري وكيفية معالجته . وأدت هذه الدراسة إلى علم البصريات السيكلولوجي الذي جهد في تعريف قوانين التصور النفساني لحافزات التشيع على العين . وأدى هذا العلم أيضاً إلى تقنية صنع النظارات ، المتخصصة لتصحيح التشوهات عملياً ، وإلى طب العيون المتوجه نحو معرفة أمراض وتطبيب أمراض العين وتوابعها البصرية .

وأخيراً اعتبرت كقطاعات أو فروع في علم البصريات ، علم « الفوتومتريا » أو دراسة الطاقة المشعة ، كضوء والأوان تراها العين البشرية ، ثم تقنية الإضاءة ؛ وإلى جانب الفوتومتريا هناك علم الألوان وغرضه قياس الألوان وتحديداتها في جوهرها الفيزيائي .

كذلك كان يُعتبر ضمن علم البصريات فن التصوير الفوتوغرافي الذي يسجل صوراً بصرية على قشرة حساسة ، بواسطة آلات مزودة بعدسات أو بأنظمة بصرية أخرى ، وكذلك العديد من التقنيات الأخرى المشتقة مثل : التصوير السينمائي ، والتصوير النجمي ، والتصوير الفوتوغرافي ذو الأبعاد أو التجسيمي ، ثم المسح التصويري الفضائي ، والتصوير الميكروسكوبي والتصوير الطيفي (أو تصوير الأشعة السوداء) ... الخ .

ان التصوير الكهربائي كان هو أيضاً يعتبر داخلاً في علم البصريات ، فالخلايا التصويرية الكهربائية تمكن من استكشاف الاشعاعات ثم تصويرها بشكل كامل .

كما يلتحق بهذا المجال انتاج بلورات الإبصار ، واعداد العدسات ، والمرايا والمؤشرات وأساليب الحساب الإبصاري للأنظمة ، وكذلك درس المشاريع ، وصنع ومراقبة الأدوات البصرية ، وعدة تخصصات متنوعة تدخل تقنية الإبصار ، وكلها تتطلب تعاوناً علمياً عالي التخصص .

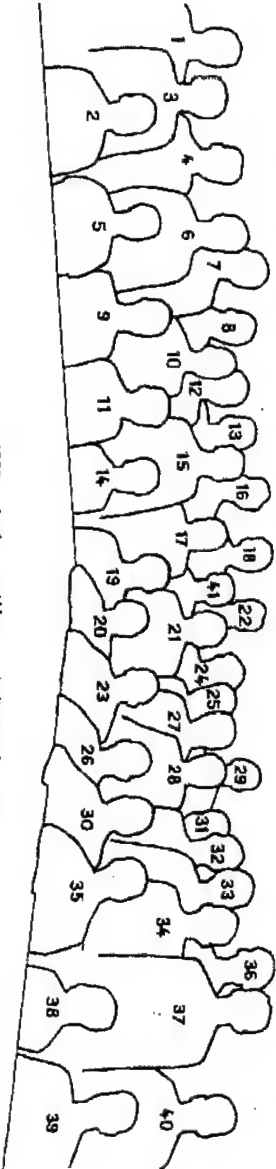
ويجب ان نذكر أيضاً انه في العديد من القطاعات تلعب أدوات الإبصار دوراً مساعداً مهماً - مثل المناظير والتلسكوبات في علم الفلك ، وأدوات التصوير في الجيوديزيا (علم الجاذبية الأرضية) وفي الطبوغرافيا (علم الارائة) - ، وبعض العلوم مثل علم السقايس والموازين ، وعلم المطيافية والمدخالية (علم القياس بواسطة التداخل الضوئي) ، والمجهرية (ميكروسكوبية) وعلم قياس المسافات ، الخ . لها صفة إبصارية واضحة بشكل خاص .

أزمات علم الإبصار - هذا الجدول يؤكد لنا على الفكرة القائلة بأن علم الإبصار كان في أزمة كاملة في القرن العشرين . في حين إنه ، من وجهة نظرية ، قد فقد استقلاله لصالح الكهرومغناطيسية ، في خضم النشاطات البشرية ، بدا وكأنه مجموع واسع من العلوم وسن التقنيات ، ذات البنية المتناثرة وفي طريق التزايد المستمر ، وأصبحت هذه الوضعية غير محمولة ، خاصة بعد تشكل قطاعات معزولة ، بعيدة بعضها عن بعض ، وحيث اتخذت نفس التعابير ونفس المفاهيم الأساسية معاني متنوعة . وأدت الأزمة إلى توضيح بطل ، لم يفرض حتى الآن نفسه الا في الأوساط المتخصصة .

وكون علم الإبصار يوشك ان يندمج في الالكتر ومغناطيسية قد اثار انعكاسات مثمرة . وكان من المؤكد ، بهذا الشأن ، ان علم الابصار يتمتع بمزية خاصة وأصيلة ، تؤدي إلى اعتباره كعلم حق وليس كجزء من الكهرومغناطيسية .

ولكن التعريف يمثل هذا العلم لم يكن بالمهمة السهلة لأن التطور التاريخي الذي أوصله إلى هذه الضخامة قد شوّه طبيعة الظاهرة الإبصارية بالذات .

الابصار ، الفوتوغرافيا والفوتوكهرباء - الواقع انه تجب العودة إلى النبايع والنظر إلى علم الابصار كعلم مرتبط بالعين البشرية ومختص بدراسة ظاهرات الرؤية ، والضوء ، واللون والصور حيث تتدخل العين . ومثل هذا العلم لم يكن ولا يمكن أن يكون على الأقل الآن فضلاً من علم الكهرومغناطيسية .



مؤتمر القزیه السابع ، سولافي (بروکسل ، 1933)

1. E. HENRIOT.
2. E. SCHROEDIGER.
3. F. PERRIN.
4. F. JOUROT.
5. Léon JOUROT-GIRIS.
6. W. HERRMANN.
7. H. A. KRAMERS.
8. E. STABET.
9. N. BOHR.
10. E. PERRIN.
11. A. JOSEF.
12. E. T. S. WALTON.
13. P. A. M. DUBAC.
14. Marc CURT.
15. P. DERYE.
16. N. F. MOTT.
17. B. CAMBERA.
18. G. GAIKOW.
19. P. LANGSTON.
20. O. W. RUTLANDSON.
21. M. S. ROSENBLUTH.
22. P. BLACKETT.
23. Lord RUTHERFORD.
24. J. ENRIETA.
25. E. BAUER.
26. Th. DE DONDEN.
27. W. PAULI.
28. J. E. VERSCHAFFELT.
29. M. COEYNS.
30. M. DE BROGIE.
31. E. HERBERT.
32. J. D. GUCKENOTT.
33. C. D. FEATE.
34. R. PETERS.
35. L. DE BROGIE.
36. Auguste PICCARD.
37. E. O. LAURENCE.
38. Lise MERTEN.
39. J. CHADWICK.
40. I. ROSENFIELD.
41. W. BOTT.

وهكذا بدأ علم البصريات يفقد صفته كعلم فيزيائي ، ليقصر عملياً على قطاع البصريات الفيزيولوجية الكلاسيكية . ولكن الوضع كان في الواقع أكثر تعقيداً . فعلم البصريات ، بمفهومه الكلاسيكي ، يهتم بظواهر من النمط التالي : مصدر مادي يطلق اشعاعات ذات أطوال موجات متنوعة ، اشعاعات تنعكس ، وتحرف ، وتنتشر ، الخ . بفضل أجسام مادية أخرى ، وأخيراً يلتقطها لاقط يكشفها . أحد هذه اللواقط هي رقاقة حساسة تصويرياً تصاب ، بفعل الاشعاعات بتشوهات ذرية أو تحت ذرية . ثم بعد « التحميص » والتثبيت ، تعطي صورة بالأسود والأبيض . ولاقط آخر هو الخلية الكهروضوئية ، التي تتلقى تحت تأثير الاشعاعات تغييرات الكترونية ، فإذا أدخلت ضمن جهاز خاص ولدت تيارات كهربائية . ولاقط ثالث هو العين البشرية التي تحول المثيرات الاشعاعية المتلقاة إلى قطارات من الدفق العصبي ، وهذا الدفق يرسل إلى الدماغ عن طريق الأعصاب البصرية ، ثم يعمم على الوعي أو النفس عند الراصد . ويحللها الوعي ، ثم يقارنها بالمعلومات المحفوظة في الذاكرة والآتية عن طريق أعصاب أخرى حساسة ، ثم يعرضها بواسطة صور ضوئية ملونة ، ومتوضعة أمام العين ، صور تشكل العالم الخارجي ، كما يراه كل منا .

هذا وإن التفاعلية الفوتوغرافية تقوم أساساً على تفاعلات فيزيائية كيميائية ، في حين إن التفاعلية الكهروضوئية هي ذات طبيعة الكترونية . إن التفاعلية الوحيدة الحقة هي إذاً تفاعلية رؤية الضوء واللون والصور بواسطة العين . ويتعلق الأمر بسلسلة معقدة من الظواهر ذات طبيعة مثثلة : طبيعة فيزيائية فيما يتعلق ببث الاشعاعات بواسطة ذرات مادية وانتشارها انطلاقاً من المصدر حتى شبكة العين عند الراصد ؛ طبيعة فيزيائية كيميائية وفيزيولوجية فيما يتعلق بسلوكية القسم الشفاف في العين الداخلية وراء الشبكية ، وبكيفية عمل هذه الشبكية ، ثم النقل العصبي ؛ وأخيراً طبيعة سيكولوجية في المرحلة الأخيرة من الظاهرة الإبصارية : تصور وتحديد مكان الصور الضوئية والملونة في عالم الظاهر .

إبصارية الرؤية - بعد هذا التصنيف الأساسي ، بدأ الإطار العام لعلم البصريات في منتصف القرن العشرين أكثر عقلانية وتنظيماً من مجمل ما كان عليه من إطار غير محدد وغير متماسك في مطلع القرن . إن هذا الترتيب والتنظيم كانت له نتائج مهمة .

ففي بادئ الأمر لم يعد علم البصريات الفيزيائي داخلياً ضمن هذا النطاق : إن البحث عن طبيعة الاشعاعات أصبح مسألة عامة تعنى بها كل مجالات الفيزياء حيث تتدخل الموجات الكهرومغناطيسية بما يسمى فيزياء الاشعاعات . فضلاً عن ذلك ازدادت استعانة علم الإبصار الجيومتري بصيغته الرياضية الخالصة ، بعد أن قلّ تمامه مع التجربة .

وشكلت العلوم المتنوعة ، المتعلقة بالتلقي عن طريق اللدائن الحساسة تصويرياً ، هيكل نظرية مستقلة سميت الفوتوغرافيا مع ما يتبعها من تقنيات مرتبطة بها . وهناك هيكل نظرية مماثلة هو علم الكهروضوئية ، ويشتمل على الدراسات التي تتناول الكشف بواسطة الخلية الكهروضوئية .

أما علم البصريات البحث ، والمعروف بعلم الرؤية فيشتمل على كل المواضيع المتعلقة بكيفية عمل العين البشرية ، بعد استخدام معطيات فيزياء الاشعاعات ، وبعد تطوير دراسة كيفية

عمل مختلف أجزاء جهاز الرؤية . ويضاف إلى فيزيولوجيا العين دراسة التصور السيكلولوجي للمؤثرات الفيزيائية ، التي ظهرت أهميتها الرئيسية عندما ثبت ان الضوء والألوان والصور لم تكن الا معطيات سيكلولوجية . من جراء هذا فقد علم البصريات الصفة الفيزيائية التي أسندت إليه حتى ذلك الحين ، واعتمد بنية فيزيائية وفيزيولوجية وسيكلولوجية ، محكومة بالمظهر السيكلولوجي الذي هو نهاية عملية الرؤية .

ان استكشاف الطبيعة النفسانية للضوء والألوان حتم إعادة النظر في تعريف الفوتومتريا أي قياس الأشعة ، وعلم قياس الألوان المعبرين حتى ذلك الحين كفرعين من فروع الفيزياء . وقد مكن هذا التحليل من توضيح بعض الاشكالات . فإذا كان الضوء الذي نراه هو كينونة نفسانية تستعصي على كل قياس فيزيائي ، فقد أمكن على كل حال تحقيق مثل هذه القياسات وذلك برسم نفسية الراصد ، رسماً اصطلاحياً ، وذلك بتعريف « العين الوسطى » المزودة بسمات محددة انطلاقاً من قياسات أخذت من عدد كبير من العيون الحقيقية . ان ضوء الفوتومتريا يتعلق بالأشعاع الذي يحاول التعبير عما يراه راصد (مشاهد) له عينان ومسطبان ، وإذا فهذا الضوء هو ضوء اصطلاحى .

وهناك ملاحظة مماثلة يجب ان تدرج بالنسبة إلى قياس الألوان . لا توجد الا تبعاً لحالة الراصد النفسانية الذي يمثل عن طريق الألوان بعض السمات ، التي ما تزال غير محددة تماماً ، وهذه السمات تتعلق بالأشعاع الذي أثر في الشبكية . ولهذا فقد بذلت الجهود من أجل وضع مختصر اصطلاحى للتدخل الفيزيولوجي السيكلولوجي لدى الراصد ، وكذلك أيضاً البنية الطيفية للأشعاع المنير . وبعد استبعاد تدخل الراصد فعلياً ، تم وضع قواعد من أجل قياس الألوان أي قياس بعض الشروط الفيزيائية التي تحمل راصداً ما وسطياً على رؤية بعض الألوان المحددة . هذه الطريقة الاصطلاحية كانت مجدية بشكل خاص في نطاق التطبيقات . ان هذه الموضوعة للدراسات الإبصارية ، عن طريق استبدال التدخل الفيزيولوجي السيكلولوجي ، لدى الراصد ، باصطلاحات ما ، كانت في الواقع أوسع مما كان يظن . إذ بالفعل استعملت هذه الطريقة سابقاً في مجالات أخرى من علم الابصار ، ولكن هذا الحدث قد نسي لصالح واقع يعتبر كحقيقة تجريبية الشيء الذي لم يكن الا مجرد اصطلاح .

ذلك هو بشكل خاص حال علم الإبصار الجيومتري . ان أناقة هذا البناء الوياضي الهادف إلى تعريف موقع وشكل الصور المقدمة بفضل الأنظمة الابصارية ، حملت على الاعتقاد بان التجربة تتيح رؤية الصور تماماً الا في حالات استثنائية . ان أشكال وموقع الصور المرئية تختلف من راصد إلى راصد ، وتعلق بالتجربة وبالقدرات النفسانية لدى الراصد .

ان الصور التي تتناولها قواعد علم الابصار الجيومتري ، تستنتج من فرضية ضمنية تعود إلى كبلر وتسمى « قاعدة المثلث ذي الأبعاد القياسية » والذي يؤكد ان الراصد يرى نقطة مضبئة في قمة المخروط المؤلف من أشعة تصل إلى العين . رغم ان هذه القاعدة تميزت بانها نظمت علم الابصار الذي كان غامضاً جداً في القرن السادس عشر ، إلا أنها لم تكن الا مجرد طرح عملي لا

يمكن تحقيقه الا نادراً . فالنقطة المضئية التي يراها الراصد عندما تصل إلى عينه أشعة صادرة عن منبع نقطي الشكل ، يمكن ان تحدد النسبة موقعا في أبعاد مختلفة جداً عن الأبعاد التي تنص عليها هذه القاعدة .. فالصور التي درسها علم الابصار الكلاسيكي لم تكن إذاً الا كينونات اصطلاحية لا تنطبق بصورة أفضل على النتائج التجريبية مما ينطبق ضوء الفوتومتريا أو ألوان علم الألوان . هذ العمل الانتقادي ، الرامي إلى إعادة تنظيم الأفكار الأساسية في علم الابصار الكلاسيكي ، أثبت التيار المبالغ به في القرن التاسع عشر والرامي إلى جعل العديد من العناصر ذات الطبيعة النفسية الخالصة مواضيع أي أشياء فيزيائية ، وفي هذا ارتكاب لخطأ فلسفي أكيد كانت له نتائج نظرية مهمة وحتى تقنية .

التعاريف الجديدة لمفهوم الصورة - ان رد المفاهيم الأساسية إلى مجالها الطبيعي أدى إلى وضع تصنيفات جديدة مهمة للغاية لتصنيف الصور مثلاً .

ان علم الابصار الكلاسيكي لم يكن ينظر إلا إلى الصور المحددة كمكان لذرى المخروطات المنبثقة عن نظام ابصاري (أو عن مكان مراكز الموجات التي تنبثق عن هذا النظام) . وكل التحليلات كانت تتناول بنية هذه المحاور الجيومترية ، باعتبار الكشف عن الصورة مجردة وسيلة من شأنها التأكيد على توقعات الحساب الارتميتيكي أو البناء الجيومتري . ان المفاهيم الجديدة قد أتاحت تصحيح هذه الأفكار بعد إثبات طبيعة مختلف الكينونات المعتبرة ، فقد نظر في بادئ الامر إلى صدور الطاقة المشعة ، أو الاشعاع الصادر عن جسم هو الموضوع ثم انتشار هذا الاشعاع (نحو الجهاز البصري ، عبر هذا الجهاز وإلى أبعد منه) إلى أن تتوزع الطاقة التي تشكل الصورة في منطقة ما ذات بنية من طبيعة فيزيائية ، انها الصورة الأثرية . وتعطي قواعد الابصار الجيومتري ، أو الألفورتم التذبذبي ، عن هذه البنية تصويراً موجزاً ذا طبيعة رياضية هي الصورة المحسوبة التي توضح المعرفة بها بعد اعمال مختلفة . وعلى الصعيد التجريبي ، تبلورت الصورة بواسطة تركيبات من شأنها التأثير بالاشعاع . واعتبرت الصور المكشوفة على هذا الشكل ، ذات طبيعة متنوعة تختلف باختلاف اللاقط المستعمل : فهي ذات طبيعة كيميائية بالنسبة إلى الصورة الفوتوغرافية ، وهي ذات طبيعة الكترونية بالنسبة إلى الصورة الكهربائية ، الخ . ان العين البشرية تعطي تصورات ضوئية وملونة ، تتموضع في الفضاء الظاهر كاشباح ذات طبيعة نفسانية هي الصور المرئية . هذه الصور الخمس الأثرية والمحسوبة والفوتوغرافية والتصويرية الكهربائية والمتطورة هي ذات طبيعة مختلفة جداً بحيث تستحيل المقارنة فيما بينها .

وفي بداية القرن التاسع عشر ساد الاعتقاد بأن الصورة المحسوبة هي تمثيل صحيح غير قابل للجدل للصورة الأثرية ، وكان العلماء لا يعطون للصور المكشوفة الا قيمة ضئيلة ، بسبب ما يعتري هذه العملية من شكوك ومن نواقص . اما النظرية الحالية فتختلف جداً فالصورة الأثرية هي صورة افتراضية خالصة ، اما الصورة المحسوبة فليست الا تمثيلاً مختصراً وغير كامل لهذه الصورة الأثرية . والصورة المكتشفة كانت تعتبر الصورة الوحيدة التي تستحق الاهتمام بحق . ولكن طبيعتها ، وهنا يكمن تجديد تصويري مهم ، تختلف تماماً عن طبيعة الصورة المحسوبة . فضلاً عن ذلك ان الصورة المكتشفة بحكم تعلقها بالصورة الأثرية وبسمات اللاقط ، فهي تستعصي على

التعريف ، حالها في ذلك نظرياً كحال الصورة المحسوبة المعتمدة في ذاتها بمعزل عن كل لاقط .
علم الابصار الطاقوي - أتاح هذه التأملات توضيح المفاهيم الأساسية في علم الابصار وفي الفوتوغرافيا وفي التصوير الكهربائي . وكون جواب مختلف اللواقط يتعلق - بشكل غير خطي - بزخم الاشعاع الساقط ، فان بنية الصورة البادية تتعلق ليس فقط ببنية الصورة الأثرية وبنية اللاقط ، بل تتعلق أيضاً بالطاقة المركزة في هذه الصورة . من ذلك ان جهازاً فوتوغرافياً معيناً ، يستخدم صفائح (بلاكات) متشابهة ، يعطي صوراً مختلفة لنفس الشيء بحسب مدة العرض ؛ وكذلك الناظر الذي يراقب شيئاً معيناً يرى صوراً مختلفة جداً بحسب درجة الإضاءة .

وهكذا تولد فرع جديد في علم البصريات اسمه علم « البصريات الطاقوي » الذي يثبت علم كفاية علم البصريات الكلاسيكي ، ويثبت أيضاً الاخطاء العديدة والخطيرة الناتجة عن تداخل المسائل وعن الفرضيات النظرية . وقد استفادت تقنية الأدوات أيضاً من هذا التصور الجديد ، وأصبح العديد من المسائل التقنية المتروكة حتى ذلك الحين للتجربة - أي للاختبار - يعالج اليوم بتحليلات نظرية جد مفيدة وتناسب مع الواقع .

التعريف الجديد للقدرة الحولية (Pouvoir résolutif) - وهناك نتيجة أخرى مهمة جداً حصلت وهي التغيير العميق الذي أصاب أحد المفاهيم التي سادت في علم البصريات الكلاسيكي ، ابتداء من نهاية القرن التاسع عشر ، الا وهو المقدرة الحولية (أو المصرفة) .

وبالارتكاز على نظرية الموجات توصل ارنست آبي E. Abbe في المانيا ولورد رايلي Rayleigh في انكلترا ، وعن طريقين مختلفين ، إلى تبين ان الصورة (كما كانت تعتبر يومئذ) التي يقدمها جهاز بصري لا يمكن ان تكون دقيقة دقة لا حدود لها : اذ بفعل ظاهرات التداخل والانحراف ، تكون للصورة بنية تتوارى فيها خصوصيات الشيء بعد حدٍ محدد ، يسمى القدرة الفاصلة أو القدرة الحولية . فعندما يخلو الجهاز البصري بشكل كافٍ من شوائب البناء ومن الزيفان البصري ، تتعلق القدرة الحولية فقط بمركزيين أو معيارين ، طول موجة الاشعاع المستعمل ثم عنصر جيومتري في الآلة : القطر المفيد في شريحة المنظار ، قاعدة الموشور أو العدد الكامل للخطوط في المطيات « سبكتروسكوب » ، الخ .

وخلال عدة عقود ، ظلت هذه النظرية تعجب لتعاسكها ، وأناقتها وفائدتها في مفهوم الآلات ، ودراستها وتمايها . وجرت العادة على مقابلة « القدرة الحولية النظرية » ، المحسوبة بحسب هذه القواعد ، « بالقدرة الحولية الفعلية » ثم تقييم الكمال والقيمة التجارية لآلة تبعاً للتوافق الملحوظ بين هاتين القيمتين . ولكن التجربة لا تنطبق غالباً مع هذا المفهوم ؛ في أغلب الحالات تتعلق القيم بالظروف والشروط التجريبية . ولهذا فقد طبقت طريقة اصطلاحية ، شبيهة بالطريقة التي استعملت في الفوتومتريا (التصوير القياسي) وفي التلوين القياسي وفي الابصار الجيومتري ، بعد ترسيخ الشروط التجريبية للقياسات . ولكن بعض المنظرين في الابصار الكلاسيكي لم يلاحظوا هذه الحاجة إلى اللجوء إلى تقديرات اصطلاحية للعناصر المطابقة تدل على ان القدرة الحولية لم تكن ميزة للأداة ، ولكنها تتعلق بعوامل أخرى مجهولة .

وأدى توضيح الافكار حول طبيعة الصور إلى توضيح مفهوم « القدرة الحلية ». فكان ان افترض ان كل نمط صورة له قدرته الحلية الذاتية . في حين ان قدرة الصورة الاثيرية لا يمكن ان تُعرف ، والقدرة التي عرّفها لورد رايلي وآبي هي في جوهرها قدرة الصورة المحسوسة ، القدرة المحصول عليها بواسطة فرضية تحل محلّ اللاقط نموذجاً اصطلاحياً خالصاً . ان القدرة الحلية ، الفعلية ، المقاسة تجريبياً على الصورة المكتشفة ، ترتبط بهذه الصورة ، وهي مثلها تتعلق بالسمات الحساسة في اللواقط والشروط الطاقوية التجريبية . ان العامل الاكثر أهمية الذي اهملته الكلاسيكية هو الطاقة العاملة ، وهو عامل كثير التغير مسؤول إلى حد كبير عن التغيرات الملحوظة .

ان مفعول الاشعاع على طبقة كاشفة لا يظهر الا اذا كان الاشعاع النازل فوق عتبة الاحساس وتحت حد الاشعاع . ان القدرة الحلية العملية تتغير إذا تبعاً للطاقة المتاحة ، المساعدة من الصفر حتى حد أعلى ، لتعود فتزول بعدها إلى الصفر . من هذه الواقعة ، لا يمكن ان نحكم على نوعية ادأ ما من خلال العلاقة القائمة بين القدرة الحلية المحددة تجريبياً والقدرة الحلية النظرية .

وهكذا تغيرت البنية الذاتية لعلم الابصار تغيراً عميقاً بخلال القرن العشرين . ان تاريخ علم البصريات ، وقد رسم وفقاً للمخطط القديم ، اتسع فشمّل نطاقاً واسعاً دخلت فيه فيزياء الاشعاعات ، والفوتوغرافيا والكهروضوئية . وإن نحن نظرنا إلى علم الابصار من خلال تعريفه الجديد فإننا سوف نقتصر عند الدراسات التي تتعلق بالبصريات المعتبرة كعلم رؤية فقط .

تطور فيزيولوجيا العين - كانت البحوث الجارية من أجل تحديد ردة فعل العين البشرية تجاه المؤثرات الاشعاعية مشمرة بشكل خاص . فمعرفة بنية الشبكية والاعصاب البصرية قد توضحت هي أيضاً في حين صدرت فرضيات متنوعة حول سلسلة ردات الفعل التي تبدأ في الشبكية حينما تصطدم بالاشعاع ، وتنتهي بارسال الموجة العصبية عبر الاعصاب البصرية . وكذلك تطوّر علم التسجيل الكهربائي لما يجري في الشبكية أو تسجيل الظواهرات الكهربائية المرتبطة بالتهيج الشبكي تحت تأثير الاشعاعات (أنظر الفصل 2 من القسم الرابع) . وامكن الحصول على نتائج مفيدة في دراسة ردة فعل الشبكية على المؤثرات المتنوعة عبر الوقت (الرفة) وعبر الفضاء . فعندما يكون هذا التنوع متدرجاً ، لا يكون التأثير خطياً ، كما تحدث أيضاً تشوهات ، خاصة عندما يبدأ الميل (gradient) وينتهي : عندئذ ترى « خطوط ماش (ماش) » التي لم تكن بعد مفسّرة تفسيراً دقيقاً .

وكانت البحوث حول العتبات المطلقة أو النسبية ، في الاحساس ، والتكيف ، والتضييق والربط بين مختلف الوظائف الشبكية ، وخصائص العين الأخرى المتنوعة ، موضوع دراسات من قبل العديد من الباحثين الفيزيولوجيين والابصارين ومن بينهم يجب ان نذكر بشكل خاص أ . غولستراند Gullstrand ، وه . ث . هارتلاين Hartline ، وي . د . ادريان Adrian ، ور . غرانيت Granit ، وي . لوگران Le Grand .

تطور علم الابصار السيكولوجي - إن دراسة التصور السيكولوجي للمؤثرات التي تفعل في

العين ، أي في الواقع لبنية العالم الظاهري ، قد لقيت دفعةً قوية من قبل علماء النفس . وتبقى القضية الأساسية هي تحديد العلاقات القائمة بين العالم الظاهري والعالم الفعلي : أي بعد رؤية الإنسان للأشياء ، يتوجب معرفة ما هو حاصل فعلاً .

لقد تبين بشكل خاص إن العالم الظاهري هو أصغر بكثير من العالم الفعلي ، وأن التقلص إذا قيس باتجاه شعاع بصري من خلال العلاقة بين طول قسم من خط ظاهري عامودي على هذا الشعاع وطول القسم الحقيقي المطابق له يبقى قريباً من الوحدة عبر مسافة تقارب العشرين متراً امام المراقب ، ثم يتناقص التقلص لكي ينعدم بالنسبة إلى مسافة تساوي الشعاع الظاهري في قبة السماء . هذه العلاقة لما كانت أقل في الاتجاه العامودي فالتقلص يكون محسوساً أكثر في هذا الاتجاه . وهذه المظاهر العديدة والأوهام تفسر بفضل هذه الأولية في التصور النفساني للعالم الواقع . إن رؤية العمق ، والنافر وحركة الصور النفسانية كانت موضوع بحوث مهمة . وكذلك الحال في ادراك الألوان وفي تغيرات اللون تحت تأثير بعض العوامل ، مع بقاء البنية الطبقيّة للاشعاع النازل ثابتة لا تتغير ؛ ولكن هذه المسائل الخاصة لا يمكن اعتبارها حتى الآن محلولة . وهذه الواقعة تُعزى بشكل خاص إلى أن المظهر السيكولوجي في الابصار قد ظل مهملاً لمدة طويلة، وأن قسماً كبيراً من هذه الاعمال الحالية مخصص لاستبعاد المعتقدات القديمة حول الطبيعة شبه الفيزيائية لبعض الظواهر . هذا العمل الانتقادي كانت له نتائج حسنة تكشف بشكل خاص عن الفروقات المهمة في أكثر الاحيان والموجودة بين الابعاد ومسافة الصور المرصودة ، والصور المحسوبة .

التقدم في علم النظارات - إن صناعة النظارات مرتبطة بعلم وظائف العين وهي تهدف ، إلى تصحيح الجهاز البصري في هذا العضو بحيث تحصل صورة نفسانية أكثر دقة وأكثر واقعية للعالم الواقع .

في بداية القرن العشرين كانت صناعة النظارات متقدمة ، ولكن قياس الرؤية ، وإعداد العدسات ، وصنع النظارات بقي محافظاً على سمته الحرفية الخالصة . وعدسات وللاستون Wollaston وعدسات اوستولت Ostwalt ، رغم أنها داخلة نظرياً في مخطط تشيرنين Tscherning ، فقد بقيت قليلة الاستعمال . واساس العدة كان يتكون من عدسات متساوية الضمعين مزدوجة الاحديداب أو مزدوجة التقعر سهلة الصنع واقتصادية . أما العدسات الخاصة الكروية الاسطوانية ، أو العوشورية أو المزدوجة البؤرة ، أو الملونة في كليتها ، فقد كانت نادرة جداً وقليلة الاستعمال .

وقياس الابصار ، أو التحديد الكمي للزيغان البصري ، القابل للتصحيح بواسطة الزجاجات ، قد تحقق بشكل فح ، واقتصر على الانحرافات الأكثر بساطة . ولكن في الربع الأول من القرن العشرين فرضت عدسات أوستولت نفسها لأنها أتاحت توسيع مجال التصحيح البصري بشكل ضخم . وعبر السنوات التالية أتاحت زيادة قطر إطارات النظارات الاستفادة من الخاصية الموجودة في هذه العدسات الجديدة . وبذات الوقت ، تحسنت عملية قياس الرؤية ، كما تحسن

تصحيح التشابك الاشعاعي في عدسة العين ، وكان هذا التصحيح استثنائياً تقريباً في السابق ولكنه بلغ حالياً من الدقة غير متوقعة .

وانتشر استعمال العدسات الخاصة ، الكروية الاسطوانية أو حتى الطوقية بسرعة . وكانت العدسات المزودة بالبؤرة من أجل تصحيح البعد النظري قد صُنعت واستخدمت بمهارة متزايدة وانتشر استعمالها . وتم أيضاً صنع عدسات مثلثة البؤر ، أو ذات تغير دائم في القوة ، من أجل تحصيل رؤية قريبة وبعيدة ميسرة ، شبيهة برؤية الأشخاص المزودين بالتضيق . اما العدسات الانعكاسية ، التصحيحية أو غير التصحيحية ، فقد عرفت تطوراً ونمواً أدهشت ضخامته التقنيين . ومن أجل ارضاء ذوق الجمهور ، ومن أجل تحقيق حماية فعالة ضد الاشعاعات الخطرة ، أو المزعجة قليلاً (مثلاً الأشعة فوق البنفسجية) تكاثرت انماط العدسات والزجاجات الملونة في كتلتها ، تلويئاً غزيراً ومتنوعاً ، مع أشرطة امتصاص شديدة التنوع . وأتاح صنع عدسات مسطحة لصق قشرة زجاجية ملونة على عدسة عديمة اللون لتفادي ازعاج تشكيلة من التلوين ومن الشفافية بالنسبة إلى العدسات ذات القوة العالية . وأخيراً أتاححت طريقة الاسقاط الجزئي لمواد ملونة في فراغ مكثف التوصل إلى تقدم تقني جديد . وتعتبر بعض العدسات في النظارات الحالية تحفات ، بفضل أهمية البحوث العلمية التي تسببت بها ، وبفضل تنوع التحسينات التقنية التي أدخلت عليها . نشير أخيراً إلى ابتكار عدسات اللصق (ل . هين 1931 ، ج . دالوس 1933 ، Dallos ، الخ) .

إعادة تنظيم التصوير القياسي (الفوتومتريا) والتلوين القياسي - خلال القرن العشرين أعيد تنظيم التصوير القياسي بشكل كامل . وهي مهمة ثقيلة جداً لأن تعريف المعيار الأساسي ، والمقادير الأساسية وحدات القياس اقتضى بحثاً طويلة وعدة اصلاحات متتالية . وفي المجال التجريبي ، استبدلت آلات التصوير القياسية الكلاسيكية ، والتي تستعمل العين البشرية ككاشف ، بمقاييس تصويرية ذات خلية كهروضوئية ، وتم ذلك بصورة تدريجية . وكانت بعض الخلايا تتجاوب مع كل الاشعاعات التي تؤثر على العين البشرية ، وأية خلية منها لم يكن لها ردة فعل مماثلة كمياً لردة فعل العين البشرية ، ولكن إضافة لبعض المصافي الابصارية التصحيحية قد أتاححت الحصول على ردة فعل مع الاشعاعات الابصارية (ومعها فقط) ، ردة فعل قريبة جداً من التجاوب المطلوب . وجعلت هذه النتيجة علم الفوتومتريا أكثر دقة وأكثر تطبيقية ، كما جعلت حقن تطبيقه أكثر اتساعاً . ولكن هذا الأسلوب الفيزيائي والاصطلاحي أهمل الناحية الفيزيولوجية السيكلولوجية لعملية الرؤية ، وبصورة خاصة العملية المعروفة المسماة عملية تكيف الشبكية مع الظلام ومع النور ، والتي تجعل الرائي يشعر بأحاسيس مختلفة ضوئية في حين يعطي المقياس التصويري أي الفوتومتر نتائج متساوية .

وهناك ملاحظات شبيهة يمكن ادراجها بشأن قياس الالوان . بخلال العقود الأخيرة (من النصف الثاني من هذا القرن) جرت اتفاقات دولية عديدة من أجل قياس اللون . لا شك ان اللون الحقيقي لا يمكن قياسه بطرق فيزيائية . فهذا العصر النفساني يختلف بين ملاحظ وملاحظ ويختلف بالنسبة إلى المراقب الواحد بين وقت وآخر وبين عين وعين . ولكن بالنسبة إلى التطبيقات

العملية العديدة من المفيد قياس الشروط الفيزيائية التي ترى لوناً معيناً لعين وسطية . ودلت البحوث التي جرت في هذا السبيل بأن رؤية الألوان تتعلق بثلاثة معايير .

هذه المعايير يمكن ان تعرف بأشكال مختلفة : اما بواسطة ثلاثة ألوان أساسية إذا مزجت ضمن نسب معينة ، تعطى كل لون مبتغى ؛ واما مثل شحوب اللمعان ، درجة اشراق اللون والاشباع ؛ واما أيضاً من خلال ثلاث احداثيات هي Z, Y, X التي يساوي مجموعها الوحدة - والتي تكون اثنتان منها فقط مستقلتين ، بفعل هذه الواقعة - فيحدد اللون بنقطة واقعة في فضاء ذي بعدين هو مثلث اللون .

وعلى الصعيد التجريبي كانت مقاييس الألوان تستعمل عين الرائي كلائق ، ولكنها استبدلت بصورة تدريجية بأدوات ذات خلية كهروضوئية مزودة بمقاييس شبيهة بالمقاييس المستعملة في قياس التصوير أو الفوتومتريا أي بالاعتصار على القياس الاصطلاحي للشروط الفيزيائية التي ترى فيها عين وسطى لوناً معيناً .

علم الابصار التقني الجديد - في القرن العشرين حقق علم الابصار التقني تقدماً ضخماً ، وترتكز هذه التقنية الدقيقة جداً على معايير عقلانية خالصة وعلى معايير علمية .

لقد صنعت المناظير الفلكية الأولى في مطلع القرن السابع عشر من قبل نظارتيين استعملوا لهذه الغاية فقط العدسات التي كانت معروفة والتي كانت ميسرة الصنع وهي عدسات النظارات . وكانت النتائج الحاصلة تافهة فتكبير المعدات المستعملة لم يكن يتجاوز ثلاثة . وبعد هذا الحد كانت الصور تبدو مشوهة للغاية وغير مميزة .

وفهم غاليلي ، وكان الاول في ذلك ، الحاجة إلى تحسين هذه التقنية . وعالج المسألة علمياً . فرفع نسبة التكبير في المنظار الفلكي إلى أكثر من ثلاثين . وبعد ذلك بقليل ولدت التقنية الجديدة المسماة « أوبتيك الدقة » وانجز توريشلي في هذا المجال انجازات رائعة . وعلى كل حال وطيلة قرنين ونصف استمر العمل العشوائي تقريباً في أغلب الأحيان على أساس الملاحظات التجريبية ، « مع الاحتفاظ بإسرار المعلمين » . وحتى بعد النجاحات التي حققها دولند Dollond ، عندما تم انجاز أجهزة ابصارية نقية من الزيغان اللوني بفضل المزج بين مختلف الزجاجات الابصارية ، وهي الزجاج الصواني والزجاج التاجي الشديد النقاء ، ظل صنع هذه النظارات تجريبياً وغير منظم ومكلفاً . وانه فقط في النصف الثاني من القرن التاسع عشر بدأت دراسات ليون فوكولت Léon Foucault ثم دراسات اللورد رايلي توضح العناصر الضرورية ، من جهة للحصول على سطوح قرية جداً من السطوح التي كانت تعرفها النظرية بتعابير جيومترية ، ومن جهة أخرى توضيح العناصر الضرورية لتجانس عجينة الزجاج المخصصة لإبصار الدقة . هذه الدراسات لم تنل نهايتها المنطقية الا في القرن العشرين . وقد تبين فعلاً أن شكل سطوح مختلف القطع الابصارية ، وانتظامية الاوساط المقطوعة يجب أن تؤمن ثبوتية الطريق الابصاري لمختلف الموجات مع تنوع شامل أدنى من كسر من طول الموجة ، مما يضع التسامح في نظامية السطوح ، بما يعادل تقريباً $0,1 \mu$ (0,1 ميكرون) .

وهذا يفسر الصعوبة التي اعترضت التقنيين في القرون الماضية الذين توجب عليهم تحقيق سطوح ذات هذا المقدار من التسامح ، دون ان تكون لديهم فكرة ولو تقريبية ، وخاصة دون ان يقدروا على تحديد الانحرافات المحتملة والتصحيحات الواجبة من الناحية العملية . وبالمقابل ، وغير العقود الأخيرة ، تم وضع طرق نظرية ووسائل تجريبية تتيح للمصانع ان يقدّر بسرعة وبدقة أيضاً نوعية زجاج الابصار كما وتصحيح السطوح الخاصة والسمات الاجمالية في الجهاز البصري الحاصل . وهذه النتائج المهمة تثبت عن تطبيق قواعد نظرية الموجات وعن استعمال ظاهرات التداخل ، والتفارق والتكثف أو الاستقطاب . وتتيح هذه الوسائل تحقيق أجهزة ابصارية بأقل كلفة من الوقت ومن العمل وبشبه يقين من الوصول إلى ما يسمى « الكمال الابصري » .

وتبين بهذا الشأن انه عندما يتم بناء جهاز ابصري وفقاً لهذه القواعد ، مع الدقة المطابقة ، يمكن تشبيه الطاقة في الصورة المحسوبة بالطاقة المحصول عليها بفضل نظام مثالي كامل ، على ان تكون الفروقات المحتملة محسوبة من جراء التشتت وبفعل بنية الاشعاع بالذات . ونتج عن كون كل الانتاج الحالي من ابصار الدقة قد تحقق عملياً بهذه الدقة الابصارية ، نتائج مهمة في العديد من مجالات البحث العلمي .

ويتوجب علينا ان نذكر أخيراً بان الآلات الالكترونية الحديثة تقدم دعماً ثميناً للحساب الابصري ولإقامة أنظمة ابصارية معقدة وذات انتاجية عالية ، فهي تتيح بالفعل احتساب أنظمة مزودة بمميزات لا يمكن توقعها حتى في الوقت الحاضر ، من جراء تعقيد الحسابات الرقمية التي تقتضيها الدراسة .

زجاج الابصار والرقائق الشاعمة - لقد ساهم التقدم المحقق في مجال اعداد الزجاجات الابصارية بشكل حاسم في تحقيق أجهزة ابصارية متزايدة القوة دائماً . لقد أتاح استعمال المحارق الكبرى من البلاتين تحسين انتاج زجاجات الابصار نوعاً وكماً ، مما برر بالتالي النفقات الكبيرة التي اقتضاها استعمال معدات بهذا المقدار من غلاء الثمن . وقد أتاح هذا الاستعمال أيضاً انتاج زجاجات جديدة وخاصة زجاجات تحتوي على اللانثان [حجر فلزي] ، الذي يتمتع بمميزات انكسارية وتشعيرية لم تتح من قبل وحتى ذلك الحين ، وهكذا تمّ انجاز زجاجات ذات مؤشر انكساري قريب من مؤشر الماس .

ورغم النقص في الصلابة ، والقسوة ، الذي لا يسمح لمواد اللدائن المتنوعة ، حتى الآن ، من الحلول محل زجاجات الابصار ، فإن هذه المواد تتميز في بعض الأحوال بفضائل أكيدة .

ثم ان استعمالها سائر في طريق الانتشار : فقد سبق ان استعملت بعض الاصماغ التركيبية على مستوى واسع من أجل صنع زجاجات النظارات الخفيفة ، الشفافة جداً والتي تقاوم الكسر . ان بعض المركبات العضوية المسماة « الزجاج العضوي » هي ذات أهمية خاصة ، لانها تتمتع بمقاومة للتجرح تفوق مقاومة كل المواد البلاستيكية الشفافة المستعملة حتى وقتنا الحاضر .

وهناك أسلوب قد أعطى نتائج باهرة ، رغم عدم استفاد إمكاناته حتى الآن ، وهو ترسيب طبقات رقيقة بالاسقاط الجزيئي في الفراغ .

ويمكن تلخيص تطبيقاته العملية الحالية كما يلي :

أ - معدنة من كل نوع - بيتاً بشكل خاص الاهمية الكبرى التي كانت لترسيب طبقات رقيقة جداً من الألمنيوم المعدني فوق سطوح مخصصة لتستعمل كمرايا بدون زجاج داخلي . وكل المرايا الكبرى في العاكسات الفلكية الحالية مؤلمة بهذا الأسلوب ، ومسهولة ضبط سماكة الطبقات المترسبة تتيج الحصول على شفرات نصف شفافة يتناسب عامل الانعكاس فيها بنسبة معينة مع عامل النقل أو التوصيل .

ب - المعالجات ضد الانعكاس - من الممكن وضع طبقة رقيقة ذات سماكة مناسبة وذات مؤشر انكساري ضعيف فوق سطح عدسة أو شفرة من الزجاج ، من أجل تخفيض المعدل المثوي للاشعاعات المنعكسة بواسطة هذا السطح ؛ وهكذا يستبعد أحد الأسباب الأكثر خطورة في ضياع التيار المشع في آلات الابصار مما يزيد كثيراً الانتاجية التصويرية القياسية .

ج - ترسيب طبقات متعددة - تتيج هذه الطريقة الحصول على نتائج مذهلة ومفيدة جداً : يمكن الحصول على سطوح في منتهى الانعكاسية تمتلك قدرة انعكاسية قريبة من نسبة مئة بالمئة ؛ وتُصنع مرايا متعددة الانعكاسات ، تعكس كل الاشعاعات ذات الموجة الأطول من حد معين (تختار حسب الارادة) وتسمح بمرور الاشعاعات التي طول موجتها أقل من هذا الحد . وامكن صنع مصاف ذات شرائط شفافة من عرض معين - كما تم صنع مصاف سميت وحيدة التلوين لأنها لا تترك مجالاً لمرور أي ضوء غير شريط طول موجته لا يتجاوز بعض المليميكرونات ، يوضع هذا الشريط في منطقة ما من الطيف المثبت مسبقاً .

وقد أصبح ترسب الطبقات الرقيقة عبر الاسقاط الجزيئي في الفراغ تقنية متداولة بكثرة .

نظرة حول أهم التطبيقات العملية في الابصار - نكتفي هنا بتقديم بعض التلميحات ذات الدلالة على تطور آلات الابصار ، أي تلك الآلات التي تخصص لتضخيم القدرة على الرؤية في العين البشرية .

ويجب الاعتراف بأن الفوتوغرافيا والكهروضوئية قد استوعبتا العديد من الآلات التي كانت في الماضي تعمل بفضل العين . وفي مجالات الفوتومتريا أو التصوير القياسي والتلوين القياسي استبعدت الأدوات البصرية تقريباً بشكل كامل لصالح الأدوات الكهروضوئية .

وفي مجال الأدوات التلسكوبية (أي الارصاد الفلكية) استُبدل الرصد البصري ، الى حد كبير بالفوتوغرافيا التي أتاحت بفضل امكانية تطويل وقت الرصد ، ترقيم اشعاعات ضعيفة جداً ترسلها النجوم البعيدة ، وهذه الميزة لا تملكها العين . ولا يمكن التغاضي عن التذكير ان المرصد الكبير في جبل بالومار Palomar والمزود بمرآة قطرها 200 بوصة (أي حوالي خمسة أمتار) يشكل تحفة التقنية ابصارية في القرن العشرين . انه عمل عملاق لا يمكن تجاوزه قبل مضي وقت طويل (انظر الفصل 4 من القسم الثالث) .

وهناك تجديدات أخرى في الآلات مهم جداً في مجال علم الفلك ، ويقوم على استعمال الشفرة

اللاكروية التي تنسب الى برنهارد شميدت Bernhard Schmidt (1930) .

انها شفرة من زجاج خاص حُصِبَ جانبها بشكل خاص لتصحيح الزيغان الكروي الحاصل في مرآة مقعرة كروية تتلقى ضمايم الأشعة الضوئية المتوازية والآتية من الكواكب . هذه الشفرة توضع قرب مركز انحناء المرآة في حين تتم استعادة الأشعة ، ضمن السطح البؤري ، وبواسطة هذا الجهاز الذي أدخلت عليه بعض التعديلات - ومنها تعديلات ماكسوتوف Maksutov (1941) وكولا سيفيتش Colacevith (1943) - أمكن صنع أدوات مضيئة بشكل خاص ، أي مزودة بفتحة زاوية كبيرة ، وقادرة بذات الوقت على اعطاء صور مرضية ضمن حقل أكبر بكثير من الحقل الذي تعطيه المرايا البيضاوية الكلاسيكية . واليوم تستعمل أدوات مزودة بشفرة شميدت في كل المراصد الفلكية .

ومن بين الأدوات المشتقة من المنظار الفلكي تجب الإشارة إلى مقياس البعد أو التلمتر (مقياس المسافة) الأحادي المحلّة والمتميز بصفات من الحساسية والدقة تبرز في ظروف الاستعمال الأكثر صعوبة كما هو الحال فوق السفن الحربية . ويجب أيضاً أن نذكر منظار الاعماق أو البيريسكوب الذي يمكن الغواصات من البقاء على اتصال بصري بالسطح عندما تكون على عمق أقصاه عشرة أمتار .

وفي مجال الطوبوغرافيا تتيح الأدوات العصرية التي تعبر تلقائياً ، كسب وقت ثمين وذلك حين تقوم بصورة أوتوماتيكية بالموضوعة ، أو تعيين الموقع ، دون خسارة في الدقة . ويفضل التقدّم في البناء الميكانيكي ، وبصورة خاصة استعمال المسافات البؤرية القصيرة جداً ، والشبقيات ذات القطر الأكبر ، مما يسمح بتعيين الأماكن بدقة بصرية أكبر ، أصبحت الأدوات العصرية أقل وزناً وأقل ازعاجاً من أدوات القرن الماضي ، وهذه الصفة مهمة بالنسبة إلى الأجهزة المخصصة لتتفعل كثيراً عبر مسافات طويلة .

وفي مجال الميكروسكوب أتاحت التحسينات التقنية المتوفرة ، في حساب الشبقيات وفي تحقيق كل القسم الابصاري ، التوصل الى أقصى الامكانيات أي إلى الحد الذي يفرضه طول موجة الاشعاعات البصرية . وهذا السقف أمكن تجاوزه بواسطة الميكروسكوب الالكتروني ، ولكن هذه الآلة تستعمل ظاهرات لا تدخل في مجال البصريات (أنظر بهذا الموضوع دراسة ب . مرزبن وج . لوميزك في الفصل التاسع) . وعلى كل حال حقق الميكروسكوب الابصاري تقدماً غير سنكور . وإذا لم يكن بالامكان تجاوز الحد المطابق لطول الموجة فقد أمكن توسيع شروط استخدام هذه الآلة .

والتجديد الأكثر أهمية في هذا الطريق هو الرصد عن طريق « فرق المرحلة » بفضل النزلندي ف . زرنيك Zernike الذي أدخله إلى الميكروسكوب (1933 - 1938) .

في أنبوب الميكروسكوب وتحت الشبكية مباشرة توضع شفرة تسمى شفرة المرحلة وعلى هذه الشفرة يتم ترسيب طبقة رقيقة ، بواسطة الاسقاط الجزئي في الفراغ ، ومن شأن هذه الطبقة ان تؤخر بمقدار نصف طول الموجة ، قسماً من الموجة يساعد في تشكيل الصورة في الآلة . وإن

نظرنا إلى تركيب ذي شفافية متساوية ولكن فاقد الانسجام بشكل محسوس بصرياً (مثل مركب يحتوي على جراثيم حية وغير ملونة) ، في الوقت الذي لا يُرى فيه شيء بحال عدم وجود شفرة المرحلة ، بالعكس فإن كل عدم تناسق يصبح مرئياً عندما تبدأ هذه الشفرة بالعمل . وهكذا يمكن تفحص مركبات تتضمن جراثيم حية دونما حاجة إلى استخدام تقنية التلوين الكهربائي الضروري لجعل هذه الجراثيم مرئية في الرصد العادي .

وهناك شكل جديد في مجال الميكروسكوب ويسمى الميكروسكوب التداخلي ويعود الفضل فيه إلى فريدريك Frederichs ، مرتون Merton وديزون Dyson ، الخ .

وبواسطة الرصد الميكروسكوبي يمكن تفحص التشوهات الداخلة بواسطة المركب المدروس داخل موجات مقياس التداخل ، وهي تشوهات تكشف عنها تشوهات أهداب التداخل المحدثة داخل هذه الآلة . ويمكن استخراج مؤشرات مفيدة منها حول تغير مؤشر الانكسار داخل مختلف أقسام المركب ويمكن ان نستنتج أيضاً سماكة الخلايا .

وبذات الوقت تم درس ميكروسكوبات بدلاً من ان تستعمل شبحيات ذات عدسات ، هي مزودة بمرايا مقعرة تعيد بالتالي وبشكل مصغر بنية التلسكوب من نمط كاسجرين Cassegrain . وقد تبين ان هذه الميكروسكوبات تفيد في دراسة التفاعلات التعدينية مما يتيح بصورة مباشرة رصد المواد أثناء ذوبانها . وهناك نماذج أخرى من الميكروسكوبات أتاحت رصد ما يحدث داخل آلة طاردة عن المركز أثناء عملها . انها هنا تطبيقات عملية لا يمكن بشأنها التطلع إلى استخدام أدوات غير الميكروسكوب الابصاري .

وبخلال القرن العشرين وفي مجال الرصد الطيفي تمت مشاهدة استبدال الرصد بالعين بواسطة التسجيل الطيفي الكامل (السبكتروغرافيا) ؛ خاصة وان الاشعاعات المفيدة في الدراسة تتجاوز في أكثر الأحيان المجال المرئي لتتناول ما تحت الأحمر وما فوق البنفسجي .

وعلى كل يجب التذكير بالتقدم الهائل المحدث بفضل بناء شبكة انحراف تضخيمية (Blasing) من شأنها التركيز لأكبر قسم من طاقة الموجة النازلة ضمن موجة واحدة محروقة ، مما يحسن إضاءة مراصد الأطياف ذات الشبك . وعلى أساس معطيات الابصار الطاقوي ازدادت هذه الامكانية الجديدة في شبكات الانحراف ازدياداً ضخماً متوجهاً . الواقع ان العديد من الأدوات ، وخاصة في علم الفلك والتي كانت تستعمل في السابق الموشورات بسبب الاضاءة الضعيفة جداً في الشبكات تستعمل اليوم شبكات التضخيم ، مما يعطيها أفضلية من جهة التشييت والقدرة الحولية .

ان هذا العرض السريع للمساهمات العديدة المحدثه في مجال علم البصريات منذ بداية القرن العشرين تكشف عن تقدم مشهود . وفي الاطار النظري ، أعاد التنظيم العميق تحديد الحدود والامكانات بشكل أكثر عقلانية . وبذات الوقت حدث تقدم مهم في مجال معرفة شغل العين البشرية وكذلك في قطاعات متنوعة في مجال التقنية وصنع الآلات .

التحليل الطيفي

«المطيافية»

لعبت العلاقات بين الاشعاع والمادة بخلال الربع الأول من القرن العشرين دوراً تاريخياً رئيسياً في تطور الفيزياء الحديثة ، اذ بصدها اتسع وثبت مفهوم القوانين الكانتية ، التي تصوّرها ببلانك Plank في السنة الأخيرة من القرن التاسع عشر ، التي تحكم بنية البلورات ، والجزيئات والذرات وحتى نواها بالذات والتي تعطي اجمالاً مفتاح دوام العالم الذي يحيط بنا .

مجال الاشعاعات الكهرومغناطيسية ودراسته - من المعلوم (راجع المجلد 3) أنه في القرن التاسع عشر مدّت المطيافية - إلى أبعد من طرفي الطيف المرئي - التجربة الأساسية التي قام بها نيوتن Newton ، الدالة على تفكك الضوء الابيض إلى اشعاعات وحيدة اللون . وقد جمع مكسويل Maxwell كل هذه الاشعاعات في النظرية الكهرومغناطيسية الضوئية ، والتي قدم لها هـ . هرتز H. Hertz برهان التجربة : ان كل شعاع قد تميز بتواتر ν في الحقل الكهربائي لموجة كهرومغناطيسية تجويفية أو بطول هذه الموجة $\lambda = c/\nu$ في الفراغ ، حيث تنتشر كل الاشعاعات بسرعة تعادل (c) . ورغم هذه الوحدة المبدئية ، فان نواقص التقنية تترك ثغرات بين الموجات الهرتزية وتحت الاحمر ، ولا تتيح دراسة فوق البنفسجي الا فوق الحد ($\lambda = 0,2\mu$) . وكان الشك سائداً حول ما اذا كانت الاشعة السينية (X) ، المكتشفة من قبل رونتجن Röntgen سنة 1895 ذات طبيعة كهرومغناطيسية .

وأتاح التقدّم التقني المستمر ، المرتبط بتحسين بلورات الإبصار ، وصنع البلورات التركيبية ، واستكمال شبكات الانكسار والتشتت ، وتطوير الصناعات الفراغية ، والفوتوغرافية والالكترونية ، توسيع نطاق الاشعاعات المستكشف اليوم بدون انقطاع ابتداء من التواتر العدم حتى حدود (10^{14} s^{-1}) . في سنة 1910 ؛ استطاع روبنس (Rubens) وودود (Wood) عزل شعاع يبلغ طول موجته (314μ) ميكرون في شعاع تحت الاحمر . وبين نيكولس Nichols وتير Tear سنة 1922 ان الموجات في هذه المنطقة الطيفية بواسطة الأجهزة الابصارية أو الراديو كهربائية يمكن اكتشافها بواسطة نفس جهاز القياس (الذي حول الطاقة المشعة إلى حرارة) . وفي الطرف الآخر من الطيف استطاع شومان (Schumann) (1901) تصوير الاشعاعات فوق البنفسجية المنبثقة عن شرارات طولها ($0,12\mu$) ميكرون بواسطة مطياف ذي مبصر من الفلورين ؛ وتابع ليمان (Lyman) سنة 1906 الاستكشاف إلى حدود

(0.05 μ) ميكرون بواسطة شبكات ، عن طريق الانعكاس وفي الفراغ . وتوصل ميليكان (Millikan) سنة 1920 ، بعد تحسين نفس الطرق إلى حد (0.01 μ) ميكرون (= 100A أي 100 أنغستروم) .

ان مكانة الأشعة السينية X ، بين الإشعاعات الكهرومغناطيسية ، قد تقرر بعد أن قام م . فون لو (M. Von Laue) وفريدريك (Freidrich) وكنينج (Knipping)(1912) بالحصول على تفتتها بفضل ذرات بلورة ، وخاصة عندما قيس طول الموجة بواسطة الشبكات من قبل كومبتون Compton ودوان (Doan)(1925) . أنها (أي الأشعة السينية) تغطي مجالاً يتراوح بين ما يقارب (0.1A) (مئة وحدة X) حتى حدود (300 A) حيث يمكن اكتشافها وتتبعها توفقاً لاساليب ميليكان (هولوك 1926, Holweck) .

وطيف الأشعة السينية (X) قد امتد نحو الأطوال القصيرة للموجة بفضل طيف الأشعة غاماً (γ) الصادرة مواد مشعة . وقد تم قياس أطول موجة من عيار (0.016 A) ، بواسطة الشبكات .

وقد زاد التقدم اللاحق في دقة قياسات تواتر وزخم الإشعاعات ، كما حسن دقة انفصالها ، ورفع من سهولة انتاجها واكتشافها ، من أجل دراسة خصائص المادة تجاهها .

وتشمل اجهزة الدراسة ، عموماً ، مصدر الإشعاع ، وفاصلاً للإشعاعات ، ولاقطاً .

في مجال الموجات الهرتزية ، يصدر المصدر ، اغلب الاحيان ، اشعاعاً وحيد اللون . وقد وصفت التقدمات الحاصلة في انتاج التواترات المتزايدة في مكان آخر (راجع دراسة ب . ماروزين وج . لوميزك ، الفصل التاسع) . واستخدم الكشاف انابيب الكثرونية للكشف على الموجات المستمرة وما تحت . ويضخم التيار المكتشف .

ودراسة تحت الاحمر الذي يمتد على ثمانية ثمانيات تتطلب مساهمة عدة تقنيات . وتستعمل فقط تقريباً مصادر اشعاع حراري . ويتم فصل الإشعاعات بواسطة مشورات من بلورات اصطناعية متنوعة ، بين 1 و 50 ميكرون (μ) ، أو بواسطة شبكات ذات « مسقط » مدروس (راجع الفصل السابق) في كل الطيف . وقد يكون اللاقط ، من 2 ميكرون (μ) ، مكوناً من لُذينة فوتوغرافية معالجة خصيصاً أو ، أقل من 3 ميكرون ، من اجسام تتناقص مقاومتها الكهربائية تحت تأثير الإشعاع ؛ ويعم استعمال اللاقطات التي تحول أولاً إلى حرارة الطاقة المشعة ثم تمتصها : بولومتر (bolomètre) لانغلي [Langly] (أي ميزان قياس الحرارة والطاقة المشعة) [ورايديومتر كروكس ونيكولس (Crookes et Nichols)] جهاز لقياس الدفق الطاقوي الذي تحمله الموجات . . .] ، ثم البطاريات الحرارية الكهربائية ، واللاقط الهوائي الذي صنعه غولي Golay .

وتقترب الطرق الطيفية المستعملة في الطيف المرئي اليوم من الطرق المستخدمة في فوق البنفسجي ، على أثر التخلي عن العين كلاقط ، واستبدالها اما باللدنية الفوتوغرافية واما باللاقطات الكهروضوئية (خلايا تصويرية باثة ، أو مكشرات الصور ، ويطاريات محولة [تحول اشعاع الكهرومغناطيسي إلى تيار كهربائي]) . والمصادر هي الإشعاعات الحرارية ، والتفريغات الكهربائية في الغازات ، وشرارة القوس الكهربائي بين الجوامد ، واللمعان . ويتنافس في مجال الأجهزة

التشتيتية ، استعمال الشبكات ذات الاسقاط الخاص مع استعمال الموشورات . ان المطاييف التداخلية التضافرية (راجع المجلد الثالث) ، وخاصة مقياس التداخل المنسوب إلى فابري Fabry وبيروه Péroet ، والمحمس بوضع طبقات ثنائية الكهرباء (راجع بهذا الشأن الفصل السابق) تتيح فصل الاشعاعات القوية المتجاور . وتعلق آمال كبيرة على تطبيق تحويل فورييه Fourier لتحليل النتائج المحصول عليها بفضل مقياس التداخل الذي وضعه ميكلسون (Michelson) (المجلد الثالث) .

ان القياس الطيفي لأشعة X ولأشعة γ (غاما) هو من انجازات القرن العشرين . وتم انتاج أشعة X في أنابيب كوليدج (Coolidge) ، نتيجة تصادم الالكترونات ، المبثوثة في الفراغ بواسطة خيط محمى فوق مضاد كاثودي معدني محمول إلى زخم ايجابي عالٍ . ويتضمن الاشعاع طيفاً مستمراً وخطوطاً أكثر زخماً ، تتميز تبعاً لطبيعة الكاثود المضاد . ويتم فصل الاشعاعات بواسطة المطاييف ذات بلورات التباعدات الشبكية المعروفة ، باستعمال نسب براغ (Bragg) (انظر الفصل 2 من القسم الثالث) . واللاقط هو اللدنية الفوتوغرافية أو غرفة التايين [تايين الذرات أو الجزيئات المجردة إلى ايونات ، والايون هي ذرة أو مجموعة فقدت الكترونات] (انظر دراسة ج . تيلك ، الفصل العاشر من هذا القسم) .

الفوتون (Photon) - لقد أدت دراسة العلاقات العامة جداً ، بين المادة والضوء ، والتي تظهر في الاشعاع الحراري الصادر عن الجسم الاسود (راجع دراسة ل . دي بروغلي ، الفصل الأول من هذا القسم) ، ببلانك (Plank) (1900) إلى فكرة تقول بأن الطاقة المشعة تصدر بشكل كميات صغيرة ، انما نهائية أو ما سمي « كانتا quanta » E تناسب المعادلة $E = h\nu$ (1) وتدل ν على تواتر الاشعاع و h على ثابتة بلانك التي تساوي : $(6,52.10^{-34} \text{ J.s})$.

ووضّح انشتين هذه الفكرة فكّم ، من جهة التموجات أو الذبذبات الذرية في نظريته حول الحرارة الذاتية في الجوامد (1907) ، من جهة أخرى الطاقة المشعة في نظريته حول الأثر الكهروضوئي (1905) . ان كميات (ضمايم) الطاقة المشعة ، المسماة عموماً « الفوتون » تتوافق مع المعادلة رقم (1) . وبذات الوقت ، اشار إنشتين إلى صعوبة التوفيق بين مفهوم الفوتون ومفهوم التوزيع المستمر للطاقة على جبهة الموجة ، التي تنتج عن النظرية الكهرومغناطيسية .

وبدا إنتاج الأشعة السينية (اشعة أكس X) من وجهة النظر الكانتية ، كعكاس للمفعول الكهروضوئي . ان التواتر القصوي لأشعة (X) المبثوثة يحقّق العلاقة أو المعادلة (1) ، حيث أنّ الطاقة القصوى E للالكترونات ، يتمّ تحديدها بفرق الجهد بين الكاثود (القطب السالب) والمضاد للكاثود (دوان Duane وهونت Hunt 1915) . وهناك ظاهرة أخرى ، هي أثر كومبتون (1922) ، سوف تبين أنّ الفوتون يمتلك إضافة إلى الطاقة ، كمية من الحركة تساوي $p = h\nu/c$ (نرمز c إلى سرعة الضوء) وان أثر الاشعاع X على الالكترونات يمكن أن يعالج كما تعالج الصدمة بين جسيمين . وعلى كلٍ ان المعادلة $p = E/c$ بين الطاقة وكمية الحركة هي نتيجة النظرية الكهرومغناطيسية : وقد برهنت هذه المعادلة في السنوات الأولى من القرن العشرين بتجارب أجريت حول ضغط الاشعاع (ليبيدوف Lebedev ، نيكولس Nichols) .

ومن أجل المزيد من معرفتنا بالمظهر المزدوج ، الجسيمي والذبذبي للضوء ، كان لا بد من انتظار ازدواجية ماثلة ، تم اكتشافها بالنسبة إلى المادة .

بدايات المطيافية الذرية - في السنوات الأولى من القرن استمر الاكتشاف الدؤوب لاطياف البث الذرية ، وفقاً للأسلوب الذي اتبعه بونسن Bunsen وكيرشهوف Kirchhoff سنة 1859 . وبالارتكاز على مظهر الخطوط الطيفية وعلى تغيرات عددها وزخمها بتغير شروط البث ، تم السعي من أجل تصنيف هذه الخطوط وفقاً لسلاسل ، مع تصوير تواتراتها بواسطة معادلات تجريبية من نمط المعادلة التي اقترحها بالمر Balmer سنة 1885 من أجل تصنيف الخطوط الهيدروجينية المرئية : $(2)\lambda = A m^2 / (m^2 - 4)$ وفي هذه المعادلة تكون A الثابتة m_0 عدداً صحيحاً أعلى من 2 . وقدم خيط أول موصل بفضل مبدأ الاندماج الذي وضعه ريتز Ritz سنة 1908 وفيه يلحظ ان خطوط كل السلاسل الهيدروجينية ذات اطوال موجة معينة ترمز إليها المعادلة التالية $(3) 1/\lambda = R(1/n^2 - 1/m^2)$ ، وفيها تمثل R الثابت الكونية الشاملة ثابتة ريدبرغ Rydberg ، n_0 ترمز إلى عدد صحيح يميز سلسلة ما ، m_0 عدد صحيح أعلى من n يميز كل خط في السلسلة . وعندما يكون $n=2$ نعر على المعادلة (2) . وعند التكمم ، وبشكل نأكد بفضل التجربة ، افترض ريتز أن تواتر كل خط طيفي منبثق عن كل نوع من أنواع الذرات يمثل الفرق بين حدين طيفيين يميزان هذه الذرة . وعدد الحدود يقل كثيراً عن عدد الخطوط التي يمكن تصنيفها . ولم يكتمل بعد هذا العمل التصنيفي في الوقت الحاضر ؛ ذلك ان طيف الحديد مثلاً يحتوي على عدة آلاف من الخطوط في قسمه المرئي .

وأُسندت نظرية لورنتز Lorentz (المجلد الثالث) البث والامتصاص الضوئي إلى الحركة المسرعة في الالكترونات التي اعترف لها بأنها مكونات لكل مادة . وفي الغازات والأبخرة الشائبة الكهربائية لا تكون هذه الالكترونات حرة ؛ ولكن استقطاب هذه الامكنة بالحقول الكهربائية يدل على ان الالكترونات تستطيع ان تنتقل داخل الذرات والجزيئات . وهكذا تم التوصل إلى تشبيه الذرة المشعة بالهواء الرفيع الدقيق ، في حين تقوم الالكترونات بالضرورة ، بحركات دورية ، لأن الذرة مستقرة ، والاشعاعات المنبثقة لها تواترات الحركات المنسجمة (الهرمونية) التي يشكل تراكمها الحركة الدورية . في سنة 1902 ، اقترح ج . ج . تومسون Thomson نموذج ذرة ترضي قوانين الميكانيك والكهرديناميك الكلاسيكيين .

وحفزت نظرية الالكترونات على البحث عن مفعول الحقول الكهربائية والمغناطيسية على بث الاشعاعات . وحدث تغيرات تواتر الخطوط الطيفية تحت تأثير حقل مغناطيسي ، والمكتشفة من قبل زيمان Zeeman سنة 1896 (المجلد الثالث) والمفسرة من قبل لورنتز ، بدت في أغلب الاحيان معقدة جداً (مفعول زيمان غير العادي ومفعول باشن - باك Paschen-Back ، 1912) بحيث تستعصي على الشرح بواسطة النظرية ، وكذلك الحال في التغيرات المحدثة بفعل حقل كهربائي (مفعول ستارك - لوسوردو Stark-Lo Surdo ، 1913) .

وفي سنة 1911 قادت تجارب تشتت الجزيئات في المادة (راجع ، الفصل 10 من هذا القسم) رودرفورد Rutherford إلى التخلي عن النموذج الذري الجامد الذي وضعه تومسون وإلى استبداله بنموذج ديناميك تدور فيه الإلكترونات حول النواة الإيجابية كما تدور الكواكب حول

الشمس . ولكن هذا النموذج اصطدم بمصاعب خطيرة في النظرية الكلاسيكية للاشعاع : باعتبار ان الطاقة المشعة تستمد من الطاقة الميكانيكية الموجودة في الالكترونون ، مما يوجب على هذا الأخير ان يرفع بصورة تدريجية تواترة الدوراني فينبث اشعاعات يزداد تواترها أيضاً بشكل مستمر - في حين تكون الخطوط الطيفية المنبثقة عن الغازات محددة للغاية - وأخيراً تسقط فوق النواة : وعندها تصبح الذرة غير مستقرة .

تطور نظرية الكائنات القديمة - في سنة 1913 لاحظ بوهر Bohr ان المعادلة (3) يمكن ان نكتب بالشكل التالي : $E_n - E_m = h\nu = hc/\lambda = (hcR/n^2) - (hcR/m^2) = E_n - E_m$ ، فافترض ان E_n و E_m تمثلان على التوالي طاقتي حالتين توقييتين في ذرة رودرفورد ، وهي حالات ديناميكية تكون فيها الذرة غير مشعة ، خلافاً لقوانين الكهروديناميك الكلاسيكي . ويتم بث أو امتصاص فوتون الطاقة $E = h\nu$ المنبثق عن المعادلة (4) فقط عندما يمرّ الالكترونون من مسار جامد إلى مسار آخر . ان طاقة الالكترونات في الذرات تصبح مكتممة عندئذ .

وقد شهد العقد التالي اثبات وتوضيح هذه الافكار الاساسية . قام ج . فرنك Franck وه . هرتز Hertz سنة 1913 بقذف ذرات البخار بالكترونات منتظمة الطاقة ، فاثبتا بالبرهان المباشر ان هذه الطاقة لا يمكن ان تمتصها ذرة ما الا بكميات ضئيلة جداً ، وعند خسارة احدي هذه الكميات التي يرمز إليها بـ ΔE ، تقذف الذرة اشعاعاً يبلغ تواتره $\nu = \Delta E/h$. ان ظاهرات التذبذب البصري (وود 1904) التي تقوم على الامتصاص الانتقائي ، من قبل ذرات البخار ، لاشعاعات ذات تواتر محدد بدقة ، ضمن ضمة ضوئية ثم اعادة بث هذه الاشعاعات ، في كل الفضاء ، يمكن تفسيرها بسهولة بفضل نظرية بوهر . وفي سنة 1913 انشأ موزلي المطياف لاشعة X وبين أن التواتر الاعلى في طيف X المبعوث من قبل كل عنصر ، يخضع لمعادلة تشبه معادلة بالمر . وفي سنة 1916 فسر كوسل Kossel معادلة موزلي Moseley كما فسر بوهر معادلة بالمر .

ووسع سومرفيلد Sommerfeld (1916) التكميم حتى أشمله الحركات الذرية المتمتعة بعدة درجات من الحرية .

وتتألف ثوابت هذه الحركات التي يحددها الميكانيك الكلاسيكي (طاقة ، عزم حركي ، واذا وجد محور ثابت في الفضاء ، اسقاط هذا العزم الحركي على هذا المحور) من مقادير مكتممة ، هي مضاعفات صحيحة لثابتة بلانك . ان المسارات الممكنة للالكترونات تصبح أكثر تنوعاً ويتوجب ان يطبق عليها الميكانيك النسبوي .

وبالامكان بعد ذلك تأويل السمات الرئيسية للأطياف البصرية في الذرات القلوية ، التي يلعب دوراً في انتاجها الكترون واحد . ان البنية الدقيقة لهذه الاطياف وجدت تفسيراً لها عندما زُود الالكترونون بدرجة من الحرية اضافية ، مثلت في يادى الامر كتمحور أو سبين (هبوط لولي) (أوهلنبك Uhlenbeck وغودسميت Goudsmit ، 1925) . وفسر مفعول زيمان بسهولة في النظرية الجديدة . في سنة 1916 ، فسر أبيتين Epstein مفعول ستارك Stark . وفي سنة 1921 وضع لاندي Landé معادلة تجريبية توضح مفاعيل زيمان غير العادية .

وقد تمت ظاهرات غريبة عن المطيافية مساندتها للاكتشافات السابقة أو استفادت منها : وأظهرت قياسات الحرارة الذاتية (النوعية) عند درجات الحرارة المتخفضة تكميم الحركات الذرية والجزئية . ووجد التكميم فوق محور في الفضاء برهاناً مباشراً في التجارب المغناطيسية التي قام بها سترن Stern وجرلاش Gerlach (1922) . وادت مقارنة اطيف العناصر إلى تحديد بنيتها الالكترونية .

إن مجمل هذه النتائج وتأويلها ، الذي يشكل ما يُسمى بالنظرية الكمية القديمة ، وجد التعبير الرئيسي عنه في كتاب سومرفيلد « الذرة والاطياف » (1919: Atombau und Specktrallinien) . وعلى كلٍ اصطلمت النظرية بمصاعب : فهي قد عجزت مثلاً أمام تفسير مقاعيل الذرات ذات الالكترونين الابصارين ، وحتى ابسطها ، وهو اتموم الهليوم ، وأمام تفسير مقاعيل زيمان غير العادية . وقد احتفظت في أسامها وبأن واحد بمسلمات التكميم وقوانين الميكانيك والكهرمغناطيسية الكلاسيكية ، في مزيج غير عقلاني ، رغم اعلان بوهر عن « مبدأ التوافق » الدال على ان القوانين الكمية تنزع نحو القوانين الكلاسيكية عندما يصبح عدد الكائنا العاملة كبيراً جداً .

الميكانيك الكائني (نسبة إلى الكائنا : ضمايم الاشعة) - هناك نظرية مرضية استطاعت أن تستخرج القوانين الكائنية من المبادئ الأساسية الكبرى . إن تأسيس ميكانيك جديد ، صالح بالنسبة إلى الذرات وإلى الجزئيات قد وضع عن طريقين مختلفين . في الطريق التي فتحها هيسنبرغ Heisenberg سنة 1925 ، مستلهماً الاهتمام بالنظرية الوضعية ، حرص الواضعون على استبعاد عدد من المفاهيم من وصف الظاهرات ، والتي بات معناها مشكوكاً به ، كما حرصوا على وضع نسب بين كميات قابلة قدر المستطاع للرصد والمراقبة مثل : مستويات الطاقة ومثل التواترات والزخوم في الخطوط الطيفية . وادى هذا إلى تصوير هذه المقادير بواسطة مصفوفات أو عوامل ، كان قد وضع قواعد حسابها كايلي Cayley في منتصف القرن التاسع عشر (المجلد الثالث) ثم تأسيس ميكانيك للمصفوفات صورّه بورن Born وجوردان Jordan ، ثم بصورة مستقلة ديراك Dirac .

وكان ثاني وصول إلى الميكانيك الذري قد نشأ في فكرة ل . دي بروغلي Louis de Broglie سنة 1924 حين فكر بضم كل جزئية منحركة إلى موجة يضاف طولها $\lambda = h/p$ متبعاً بالاجمال مساراً معاكساً للمسار المؤدي إلى نسب كمية من الحركة إلى الفوتون . ويعود الفضل في تطوير هذا الميكانيك التموجي إلى شرودنجر Schrödinger الذي وضع سنة 1926 المعادلة العامة التي تتوافق معها موجة بروغلي . وتعتبر معادلة شرودنجر معادلة تحليلية كلاسيكية . فإذا طبقت على مسائل بسيطة يمكن ردّها إلى دراسة جزئية واحدة (الهزاز التوافقي ، دوار الكتلتين ، ذرة الهيدروجين) ، فانها أي معادلة شرودنجر تعطي حلولاً دقيقة تستدعي إدخال دالات درسها رياضيون من القرن 19 ، وتؤدي عن طريق الاستنتاج إلى كل شروط التكميم التي كانت تبدو في الماضي عشوائية .

وهكذا يمتلك الكترون ذرة الهيدروجين أو الهيدروجين المولّد ثلاثة اعداد كائنية صحيحة هي : n (أو العدد الكائني الرئيسي) ، l (أو العدد الكائني السمي أي الاقصى) ، و m (أو العدد الكائني المغناطيسي) وكلها تعود بالتالي إلى الثوابت الثلاث للحركة . وهناك عدد كائني رابع هو s يعود إلى العزم الحركي الذي يقوم به السبين (الدوامة) الذي هو - كما بين ذلك ديراك سنة

1930 - خاصة ناتجة عن تطبيق معادلة تشبه معادلة شرودنجر على الإلكترون ، إلا أنها ترضي الثبوتية النسبوية .

وبين شرودنجر سنة 1926 أن ميكانيك المصفوفات والميكانيك التأموجي متساويان . وهما بعد ذلك يجتمعان في ميكانيك كانتية يفسر بشكل مرضٍ ، من حيث المبدأ ، ليس فقط وقائع المطيافية ، بل أيضاً عدداً كبيراً من الخصائص الأخرى الذرية أو الجزيئية . ويعطي اليوم ، وفي أغلب الأحيان ، الميكانيك الكانتية شكلاً بدهياً (ديراك ، فون نيومان Von Neumann) ، سهل التعلّم ، إنما يجب أن ننسى نشأته التجريبية .

الميكانيك الكانتية والسببية - من بين المسلمات الأساسية التي يمكن الانطلاق منها لعرض الميكانيك الكانتية ، ترسم « نسب الاستبدال » التي وضعها هيسنبرغ ، وهذه النسب بالذات هي ذات علاقة وثيقة « بمبدأ الشك » لذات المؤلف ، مما ينتج عنه عدم امكانية نسب موقع واحد وحالة حركية محددين تماماً ، إلى نفس الجسيم بذات اللحظة . هذا القصر الاساسي لمعارفنا مرتبط بالقيمة النهائية لثابت بلانك . في لغة الميكانيك التأموجي يرتدي مبدأ الشك شكل فكرة الاستكمال (Bohr, 1927) : ان التجربة التي تثبت الصفة الجسيمية لجسم ما تترك بالضرورة في الظل صفته التأموجية . وأخيراً يكون تفسير دالة الموجة التي تتدخل في معادلة شرودنجر كما يلي : ان مربع مقياس هذه الدالة يعادل في كل نقطة وفي كل لحظة احتمالية إمكان الرقابة بتحديد موضع الجسيم في هذه النقطة وفي هذه اللحظة (بورن ، 1926) . هذه الثنائية الموجة - الجسيم ، والشك والاحتمال المقرونان بها لم تمنع الميكانيك الكانتية من تشكيل نظرية متماسكة لم ترضِ على كل حال بعض الفيزيائيين (راجع بهذا الشأن دراسة ل . دي بروغلي ، الفصل 1 من هذا القسم) .

أطياف الذرات ذات الالكترونات المتعددة - منذ أن نواجه عدة جزئيات ، نعرف في أغلب الأحيان كيف نضع معادلة شرودنجر ، ولكن لا نعرف حلّها بدقة ؛ فنضطر إلى اللجوء إلى طرق التقريب . وعندما يتعلق الأمر بالكترونات في ذرة فإن التقريب المرضي يقوم على اعتبار كل الكترون وكأنه خاضع لحقل مركزي تخلقه النواة والتوزيع الوسطي للالكترونات الأخرى (حقل الاكتفاء الذاتي عند هارترتي Hartree, 1928) .

عند هذه الدرجة من التقريب يمكن استعمال الأرقام الكانتية n, l, m, s المحددة سابقاً من أجل تحديد الحالات الذرية ، وطاقة هذه الحالات لا تتعلق على كل حال إلا بالعدد n, l . ويبقى هناك فرق بين الحقل الحقيقي والحقل المركزي . ويؤخذ هذا الفرق بعين الاعتبار ، في تقريب ثانٍ ، عندما ننظر إلى العزم الحركي المداري وإلى العزم الحركي في سبين كل الكترون ، باعتبارهما كأسهم عادية (وهذا أمر لا يجيزه الميكانيك الكانتية بكل دقة) . وهكذا نحصل على نموذج مهمي للذرة ، نستطيع أن نحدد عزوم الحركي الشامل بواسطة قواعد جمع الأسهم . ولهذا يمكن أن نطلق من وجهين ، الوجه الأول ونقوم على تركيب العزوم الحركية المدارية الفردية من أجل الحصول على العزم الحركي المداري الشامل ، هذا من جهة ومن جهة أخرى نقوم بتركيب العزوم الحركية للسبين مما يعطي العزم الحركي الشامل للسبين ، وبمعدّها نأخذ حصيلة هذين السهمين : انه مزدوج رسل

Russel و سوندرس Saunders الذي يطبق على الذرات الخفيفة ، وفي الطريقة الثانية نجتمع العزم الحركيين المتعلقين بكل الكترون ثم مجموع كل الاسهم الحاصلة على هذا الشكل ؛ إنه المزدوج z ، z الصالح بالنسبة إلى الذرات الثقيلة . وأخيراً هناك تقريب أخير يهتم بالتأثيرات المتبادلة بين العزم الحركي المداري والعزم الحركي التدويري : إنه الازدواج « الدوامية - المدار » الذي يفصل ويعدد مستويات الطاقة المتميزة سابقاً بالعدد n و l والتي تتعلق بعدها بالعدد s .

إن طيف ذرة الهليوم يمكن أن يؤول عندئذ ، وهذا يساعد على التعبير الصحيح عن تفاعلات الكترونات الذرات المتبادلة (هيسنبرغ ، 1926) . وعندئذ تفسر مفاعيل زيمان غير العادية وكذلك الصيغة التي وضعها لاندي وذلك عندما نحسب حساباً لواقعة أن الطاقة بين العزم المغناطيسي والعزم الحركي ليس لها نفس القيمة بالنسبة إلى العزوم المدارية وعزوم التدوير . وحملت الدراسة الانتقادية الدقيقة لأطياف العناصر ، والتي بينت أن بعض التوزيعات الالكترونية لا تلتقي (بولي سنة 1925) على إعلان « مبدأ الاستبعاد » الذي حمل اسمه : إن الحالات الذرية التي يكون فيها لالكترونين نفس المجموع المؤلف من أربعة أعداد كمية n, l, m, s ليس لها وجود . إن جميع الانتقالات الناتجة عن المعادلة (3) ليست مقبولة بين مطلق مستويي طاقة ذرية . ويوجد « قواعد إنتقاء » متنوعة إذ تصبى عدد تغيرات قيم الاعداد الكمية أثناء انتقال معين ، فتحد من عدد هذه التغيرات . ويتيح الميكانيك الكانتي أيضاً حساب احتمالات الانتقال بين مستويين يتدخلان في التعبير عن زخم الخطوط الطيفية المقابلة . وتؤثر الخصائص المختلفة في النوى الذرية (الكتلة ، العزوم الحركية والمغناطيسية في الدوامية) على الاطياف الابصارية في الذرات وتولد « بنية متناهية الدقة » في العديد من الخطوط الطيفية ذات تواترات متقاربة جداً (تفكك عدة خطوط طيفية) .

المطيافية الجزيئية - في أواخر القرن التاسع عشر ، عُرف أن أطياف بث وامتصاص بعض الإبخرة كانت تعزى إلى الجزيئات وليس إلى ذراتها التكونية . وامتدت الاطياف الجزيئية من فوق البنفسجي إلى الشعاع الهرتزي . في المرئي وفي فوق البنفسجي ، تحتوي هذه الاطياف عدداً من الخطوط أكبر بكثير ، يوزع بشكل أكثر تعقيداً من الاطياف الذرية . أن أطياف الجزيئات المكونة من ذرتين هي الأبسط : وخطوطها تتجمع في أغلب الأحيان بشكل ضمم . ومنذ سنة 1885 صور ديلندر Deslandres توزيع الخطوط في الضمم بشكل معادلة تجريبية لعبت دوراً مهماً يعادل دور المعادلة رقم (3) في دراسة الاطياف الذرية .

وسوف يتيح التقدم في مجال المطيافية تحت الحمراء في مطلع هذا القرن ، العثور ، داخل تحت الأحمر القريب على أطياف ضمم أبسط مما هي في فوق البنفسجي (صورة رقم 5) ، ثم في الأحمر البعيد (زرنى Czerny ، 1925) وفي فوق الهرتزي (منذ سنة 1940) على سلاسل من الخطوط متعادلة البعد تقريباً . إن التفسير الصحيح لهذه الاطياف قدمه الميكانيك الكانتي . وكممت مستويات الطاقة داخل الجزيء مثل مستويات الطاقة في الذرة ، إلا أنها كانت أكثر عدداً .

في التقريب الأولي الذي قدمه بورن وأوبنهايمر Oppenheimer ، سنة 1927 ، أمكن اعتبار الطاقة E المتناحية من الحالات الجمودية وكأنها مجموع طاقة الكترونية E_e ، وطاقة ذبذبية E_v من

الذرات ، وطاقة دورانية E_r في الجزيء . والتبدلات في E_r غالباً ما تكون ضعيفة ، وهي تولد طيف الدوران الخالص ذي الخطوط ذات التواتر الأدنى . ان تغيرات الطاقة E_r هي أكثر أهمية ، إنها تقترن بتغيرات في E_r ، ومجمل الخطوط المطابقة لتغير معين ΔE_v يشكل ضمة ذبذبة دورانية (صورة 5d) . وأخيراً يقترن التغير الكمي ΔE_e في الطاقة الالكترونية بتغيرات في الطاقين E_r و E_v . ويتوافق مع هذا التغير نظام ضمم الكترونية حيث تعزى كل ضمة إلى تغير محدد ΔE_v ، وينحل في خطوط يتطابق كل منها مع نقل في الدوران E_r . وتوجد قواعد انتقائية .

إن أطيايف الجزيئات المتعددة الذرات هي أكثر تعقيداً من الاطيايف السابقة خاصة وإن الجزيئات تحتوي على مزيد من الذرات وهي أقل تناظراً . وتجمع الخطوط بشكل ضمم غالباً ما يختفي مما يجعل تحليل الاطيايف صعباً . وهذا العمل لما ينتهي بعد ، حتى بالنسبة إلى الجزيئات ذات التركيب البسيط وذات البنية التناظرية .

وهناك تمة ثمينة لدراسة أطيايف الامتصاص الجزيئي هي دراسة أطيايف الانتشار الجزيئي . ان انتشار الضوء داخل الاماكن المتناثرة التكوين (مثل السوائل المذبذبة ومثل اللدائن) قد درس من قبل تبندال Tyndall سنة 1868 . ولكن المعروف أنّ كل وسط مادي هو متناثر التركيب على الصعيد الجزيئي . في نظرية لورنتز يحرك الحقل الكهربائي لضمة ضوئية تتجاز مثل هذا المكان بشكل ذبذبات ، الكترونات الجزيئات . وهذه الجزيئات تبث النور في كل الاتجاهات . ويدل الحساب على ان الكسر من الضوء المرئي المبعوث من قبل الجزيئات يزداد ضخامة كلما كان طول الموجة أقصر .

واللون الأزرق السماوي يعود إلى انتشار ضوء الشمس بفضل غازات الفضاء (لوردرايلي سنة 1871) وفي سنة 1913 توصل كابان Cabannes في المختبر إلى دراسة الانتشار الجزيئي للضوء بواسطة الغازات . . وفي سنة 1928 حلل رامان Raman الاشعاع المنتشر بفضل اجسام نقية مضاءة وحيدة اللون فبين ان هذا الاشعاع لا يحتوي فقط على الاشعاع المحفّز بل يحتوي أيضاً على جملة من الاشعاعات المميزة لطيف ذبذبة ودوران الجزيئات كانت أقل تقدماً رغم انها استعملت كنموذج لبدايات الميكانيك التومجي .



صورة 5 - مثل على تقدّم المطيافية تحت الحمراء (ضمة من أسيد كلوريدريك بمعدّل 3,5 μ) .

تكميم الإشعاع - حوالي سنة 1928 عرف أن الميكانيك الكانتني سوف يعطي حلاً صحيحاً لأغلب المشاكل المتعلقة بالبنية الذرية ، ولكن نظرية الإشعاع كانت أقل تقدماً رغم أنها استعملت كنموذج لبدايات الميكانيك التومجي .

ان تكميم حقل الاشعاع الكهرمغناطيسي يعود الفضل فيه بصورة أساسية إلى ديراك سنة 1930 ، الذي بين انه بالإمكان وضع معادلات مكسويل بشكل يشبه الشكل الذي أعطاه هاميلتون لمعادلات الميكانيك الكلاسيكي (المجلد الثالث) . ان الحقل الكهرمغناطيسي الذي كان يعتبر وكأنه مكون من تراكم الموجات المسطحة ذات اللون الواحد ، أصبح عندئذ قابلاً للتكميم كما هو الحال بحركة الرقاص الهرمونيكي المنتظم . هذه النظرية الكانتية للحقول استطاعت أن تشمل حقولاً أخرى غير حقل الاشعاع (راجع دراسة ر . ناتاف R. Nataf ، في الفصل العاشر من هذا الفصل) .

وعلى كل حال لم يستطع وجود ثنائية موجة - جزيء في ما يخص الاشعاع والمادة ، ان ينسي الفروقات المهمة التي تفصل الفوتونات عن الجسيمات المادية . فالفوتونات تتوالد وتتعدم بشكل اعتيادي بعكس ما هو عليه حال الجسيمات . وكتلة الفوتونات هي بالفعل كتلة معدومة ، أما كتلة الجسيمات فذات حد محدود عندما تنزع طاقتها الحركية نحو الصفر ، وعندها تصبح الجسيمات خاضعة بسهولة للرصد والمراقبة الفردية ، ويكون المظهر التومجي للاشعاع هو الأكثر بروزاً .

الاحصاءات الكانتية - ان الفروقات بين الفوتونات وبعض الجسيمات مثل الالكترونات تظهر عندما يدرس سلوك مجموعات هذه الجزيئات . والتحليلات الاحصائية التي طبقها لورد رايلي ثم بلانك على شعاع الجسم الأسود (المجلد الثالث) اتخذت شكلاً جديداً في الميكانيك الكانتية .

والظهور المضخم القابل للاكتشاف لنظام ما ، يمكن أن يتحقق بفضل توزيع متعدد الاشكال مجهرياً ، وامتياز ، للجزيئات التي تشكل النظام ، بين مختلف الحالات التي يمكن لكل جزيء أن يتخذها . وإذا شبهنا الجزيئات بنقاط مادية ، فإن كل حالة تتحدد بست متغيرات : ثلاث احداثيات ذات موقع g وثلاث احداثيات دفعية p ، في مجال ذي ستة أبعاد يسمى « الامتداد المرحلي » . ان العلاقات الشوكوية تتيح تحديد قيمة مشتركة لعنصر الامتداد المرحلي المطابق لحالة ما ، وهي قيمة يتركها الاحصاء الكلاسيكي غير محددة . فضلاً عن ذلك تعتبر الاحصاءات الكمية للجسيمات ذات الطبيعة الواحدة والمكونة للنظام ، بأنها مستعصية على الرؤية مما يتيح تصحيح بعض المتناقضات في الاحصاء الكلاسيكي .

في حالة الالكترونات افترض فرمي Fermi سنة 1926 ، سنداً لتعميم لمبدأ بولي أن الحالة الواحدة لا يمكن أن تكون مشغولة بأكثر من فوتون واحد بأن واحد . هذا الاحصاء الذي وضعه فرمي وديراك ، يفسر بشكل خاص خصائص الالكترونات في المعادن .

وفي حالة الفوتونات بين بور Bose منذ سنة 1924 ان كل حالة ممكنة يمكن أن تشغل بعدد ما من الفوتونات . وهكذا أتاح احصاء بور وانشتين بشكل خاص العثور من جديد على قانون بلانك الاشعاعي .

تطبيقات المطيافية - ان الاطيف البصرية واطيف أشعة اكس هي التي كشفت عن وجود

مادتي الهافنيوم hafnium والرينيوم rhénium . وقدم الطيف البصري للدوتيريوم deutérium أول برهان على وجوده (أوري Urey ، 1933) . وأتاحت معادلة موزلي منذ سنة 1913 تحديد العدد الذري للعناصر ، ثم تصحيح بعض التماخفات الظاهرة في تصنيف ماندليف الدوري . وأتاح النموذج السهمي للذرة ، ومبدأ بولي ، فهم توزيع الالكترونات بين مستويات طاقة الذرات ، وهو توزيع وضعه بصورة تدريجية ، بين سنة 1915 و 1925 كل من كوسل ويوهر وستونر Stoner ومان - سميث Main-Smith ، منطلقين من معطيات تجريبية حول الخصائص الطيفية والمغناطيسية والكيميائية في العناصر .

وتميز أطيف الجزيئات تركيبها وبنيتها . وتستعمل المعطيات الطيفية من أجل تحديد التناظر الجزيئي ومن أجل حساب عزوم الجمود والمسافات والقوى الواقعة بين الذرات وطاقات الفصل ، وغيرها من المقادير الحرارية الديناميكية .

وتحتل المطيافية اليوم مكانة ضخمة في التحليل الكيميائي المتداول . وتستخدم أطيف البث والتوهج ، وخاصة أطيف الامتصاص منذ مجال أشعة اكس حتى فوق الهرتزي ، من أجل تحديد هوية الأنواع الكيميائية وأحياناً من أجل تعيبرها وقياسها . وجعل تقدم التقنية هذه الطرق أكثر فأكثر سهولة وسرراً ، وحساسية ودقة (بالنسبة إلى التطبيقات المطيافية الهرتزية ، أنظر دراسة ب . مارزين وج . لوميزيك ، في الفصل 9 من هذا القسم . وبالنسبة إلى تطبيقات علم الفيزياء النجمي أنظر دراستي ش . فهرنباك وج . ف . دينيس في الفصل 4 من القسم الثالث) .

وتحسين مصادر الضوء مدلين بالكثير للدراسات المطيافية . ان أنابيب التفريغ في بخار السوديوم أو الزئبق ، ومصايح التوهج (الفلوريسان) أصبحت ذات استعمال شائع . وأيضاً وبعد الارتكاز على دراسة معمقة للتوازن بين الاشعاع والمادة والانتقالات الذرية ، أمكن التوصل إلى بناء الليزر التي تشبه في مبدئها المازر وذلك من أجل الاشعاعات تحت الحمراء والمرئية .

والمازر هي مضخمات لاشعاع ذي ضجة قاعية ضعيفة جداً ولمصادر الضوء المتماثل الذي تتجاوز وحدة اللون فيه والقوى الآتية إلى حد بعيد ، تلكما الموجودتين في المصادر العادية . والليزر الياقوتي يعود الفضل فيه إلى ميمان Maiman ، سنة 1960 ، ولايزر الغازات (He + Ne) إلى جافان Javan (1960) .

وأصبح للمطيافية صلات أساسية مع المقياسية . ومنذ سنة 1864 شبه فيزو Fizeau « شعاع الضوء مع ما فيه من سلاسل تموجية » بـ « ميكرومتر طبيعي بالغ الكمال » ومنذ سنة 1960 أصبحت وحدة الطول تتحدد بطول موجة اشعاع صادر عن نظير مشع من الكريبتون . نذكر أيضاً ان هناك تطلعا إلى اتخاذ ، كوحدة للمدة ، الفترة الزمنية لخط طيفي ذري أو جزيئي (أنظر الفصل التاسع من هذا القسم) .

الحرارة المتحركة أو « الترموديناميك »

عندما بدأ القرن العشرين كان ما يسمى « بالترموديناميك الكلاسيكي » ، أي استكشاف مبدأ حفظ الحرارة ومبدأ كارنو ، وقد رأينا ازدهارهما في المجلد الثالث ، علماً شبه متو عملياً أي مكتملاً . ولكن الفيزيائيين اتبعوا في هذا الشأن مثلاً الرياضيين فعملوا على إعطاء هذه المبادئ الشكل الأعمّ ما أمكن ، وانتهوا في هذا المجال إلى نتائج مهمة .

I - حفظ الطاقة

الصيغة التي وضعها جان برين Jean Perrin - منذ سنة 1901 أطلق جان برين في كتابه المسمى « المبادئ » العبارة التالية :

عندما يكون بإمكان إحدى عمليتي تغيير أن تكون الانعكاس الوحيد للعملية الأخرى ، فمن غير الممكن الحصول ، على حساب أي منهما ، أولاً على الأخرى ثم ، فضلاً عن ذلك ، على عملية تغيير أخرى « مكتسبة » ما لم يكن هذا « الاكتساب » من تلك الاكتسابات التي تكون ارتداداً أو انعكاساً لتغيير جول Joule .

إن تغيرات جول المشار إليها في هذه العبارة هي التمددات ذات الحرارة الواحدة في غاز مكتمل . والتغيرات الأخرى يمكن أن تكون أيضاً تغيرات الموقع وفي حالة الحركة ، وفي الحالة الفيزيائية كما تكون أيضاً تفاعلات كيميائية أو نووية ، الخ .

ولدينا إذاً هنا عبارة عامة جداً استطاع بول لانجفان أن يطبقها ، سنة 1920 ، في محاضراته في الكوليج دي فرانس على وضع أو استحداث القوانين العامة في الميكانيك .

الصيغة التي وضعها ماكس بورن Max Born - إن مفهوم كمية الحرارة بقي لمدة طويلة كما كان عليه في القرن الثامن عشر مستعيناً بصورة ضمنية إلى حد ما بالفرضية حول ما يسمى بالوحدة الحرارية كالوري calorie . وفي سنة 1921 قدم ماكس بورن صيغة للمبدأ الأول تتضمن بذات الوقت تعريفاً دقيقاً لكمية الحرارة .

تم في بادئ الأمر طرح وجود جوانب عازلة تماماً من الحرارة : لا يمكن التعامل مع نظام مغلق داخل نطاق كهذا الا بعد تغير شكل هذا الغشاء أو الحاجز أو بواسطة حقول خارجية معروفة تماماً مثل حقل كهربائي . وينتج عن هذا أنه بالنسبة لكل تحول أو تغير في نظام مغلق داخل نطاق كهذا فإن العمل الجاري لا يتعلق الا بالحالة الأساسية والحالة النهائية ؛ ويسمى هذا العمل تغييراً في الطاقة الداخلية في النظام والتحول يسمى عندئذ عزل الحرارة .

ثم طرح بعدها وجود تحول في العزل الحراري دائم من شأنه نقل نظام ما من حالة أساسية A إلى حالة نهائية B وتعرف كمية الحرارة المستعملة في أي تحول بأنها الفرق $\omega - \Delta u$ بين تغير الطاقة الداخلية Δu (المحددة بالعمل المستعمل في التحول العزلي ذي الطرفين ذاتهما) والعمل في التغير المبحوث به .

نذكر ان هذا التعريف يتبع من قرب التعريف الذي يمكن أن تقدمه النظرية الجزيئية : فهذه النظرية تستطيع فعلاً تحديد الطاقة الشاملة الداخلية في نظام من الجزيئات باعتبارها مجموع طاقات كل جزيء مكون ونستطيع هذه النظرية أيضاً أن تعرف العمل ، ولكن كمية الحرارة لا يمكن أن تعرف الا باعتبارها الفرق بين هاتين الكميتين ، لأنها تنتج فقط عن تغير في توزيع الجزيئات بين مختلف الحالات الممكنة .

II - مبدأ كارنو Carnot

في كتابه « المبادئ » عرف جان برين ، بعد نقاش مع ب . لانجشان ان المبدأ الثاني هو حقاً مبدأ تطور ، وقد استطاع ان يصوغه بقوله انه إذا كان التغير قابلاً للتحقيق فطرياً فإن التغير المعاكس لا يكون كذلك . مثلاً ان سقوط جسم ما على مهاد من الثلج يحدث تدوياً لكمية من الثلج . وبعدها من المستحيل إعادة رفع الجسم بمجرد تجميد كمية الماء أي بأعمال مصدر حراري واحد ، وهذا هو بالأجمال مبدأ كارنو . ولكن مثل الحركة البراونية (نسبة إلى براون) يدل - بالنسبة إلى جزيئات صغيرة جداً - ان الأمر ليس هكذا . وإذا فمبدأ كارنو لا يصلح إلا لأجسام تكون أبعادها على مستوانا : وإذا فهو ليس أكثر من مبدأ إحصائي .

ويعد الإشارة إلى ملاحظات كاراثيودوري Carathéodory التجريدية جداً (1909) حول مفهوم القصور الحراري فإننا نركز قليلاً على مفهوم « إيجاد القصور الحراري » .

بين كلوزيوس انه إذا جرى تحول في درجة حرارة T باستعمال كمية من الحرارة q واقترب هذا التحول بتغير في المخزون الحراري ΔS يتحصل لدينا : $T \Delta S \geq q$. وإذا يمكن ان نطرح $T \Delta S = q + q'$ حيث تكون q' المسماة « الحرارة غير المعوضة » من قبل كلوزيوس ، دائماً إيجابية أو معدومة : تكون إيجابية عندما يكون التحول غير قابل للارتداد وتكون معدومة في حالة التغير القابل للارتداد ويكتسب هذه المعادلة $\Delta S = q/T = q'/T$ ثم بملاحظة ان q/T تمثل التغير في المخزون الحراري بالنسبة إلى الوسط الخارجي الذي يسرب الحرارة q ، يمكن اعتبار q/T كمخزون حراري « مبتكر » اثناء التحول عندما يكون هذا التحول غير قابل للارتداد .

وتطوير هذه الفكرة هو الذي أدى إلى دراسة « الحرارة المتحركة في العمليات التي لا ترتد » والتي اهتم بها العديد من العلماء ومن بينهم ت . دي دوندر de Donder وأونسانجر Onsanger .

النشاط - منذ سنة 1845 أدخل جيبس Gibbs فكرة « الزخم الكيميائي الكامن » ، المنبثق بالنسبة إلى عدد من الجزيئات الغرامية (المول) في مكوّن من مكونات « المحتوى الحراري الحر » G ، أي $\mu = \partial G / \partial n_i$. ولكن بالنسبة إلى غاز مكتمل أو إلى محلول مثالي يمكن حساب هذا الكامن الكيميائي .

فهو يساوي : $\mu = RT \log C_i + \varphi_i(p, t)$ وتكون الدالة φ_i غير متعلقة إلا بالضغط الشامل وبدرجة الحرارة لا بتركيب المزيج أما C_i فهي التركيز الجزيئي .

وهذا ما أتاح لـ ج . ن . لويس Lewis ان يدخل سنة 1913 مفهوم « النشاط » a_i ، لمكوّن في مزيج حقيقي .

من أجل هذا عبر عن الكامن الكيميائي بالصيغة التالية $\mu = RT \log a_i + \varphi_i(p, T)$ باعتبار μ باعتبار μ لا تتعلق إلا بالضغط العام وبدرجات الحرارة وباعتبارها القيمة التي يتخذها هذا المخزون « في حالة الاسناد » أو « الحالة المثالية » ، والتي قد تكون مختارة بشكل اعتباطي . ويساوي النشاط التركيز بالنسبة إلى المحلول المثالية ؛ أما بالنسبة إلى المحلول الواقعية فيعرف « معامل النشاط » $f_i = a_i / C_i$ ، وتكون فيه C_i التركيز الجزيئي .

ان هذه المعلومات مفيدة للغاية خصوصاً في مجال الكهركيمياء .

III - عدد أفوغادرو

رأينا ان النظرية الحرارية للغازات ، قد مكنت لوشميدت Loschmidt من تحديد قيمة تقريبية لعدد الجزيئات الموجودة في جزيء غرامي أو « مول » أو عدد أفوغادرو N (راجع المجلد الثالث) . ومن أجل الحصول على نتائج أكثر دقة فكر جان برين في التوجه إلى ظاهرة أخرى هي الحركة البرونية .

الحركة البراونية - بعد التفحص بواسطة الميكروسكوب لجزيئات صغيرة جداً غاطسة في سائل كالماء مثلاً نرى ان كل جزيئة منها ، بدلاً من أن تسقط بانتظام كما هو متوقع فإنها تتحرك بحركة غير منتظمة تماماً . إنها تدور وتصعد وتنزل ثم تصعد دون أن تستقر في وضع متواز ومعارضة في هذا مبدأ كارنو ، انها الحركة البرونية التي سميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم النباتي الانكليزي روبرت براون Brown الذي أشار إليها سنة 1827 . وهذه الظاهرة قد سبق ولاحظها بوفون Buffon وسبالنزاني Spallanzani اللذان لاحظاها على جزيئات عضوية ، واعتقدا بأنها متعلقة بالحياة .

ان هذه الحركة مستقلة بصورة مطلقة عن حركة الجزيئات المجاورة ، وهي مستقلة أيضاً عن الاحتياطات من أجل تأمين التوازن سواء الميكانيكي أو الحراري للسائل المرصود (فينر Weiner سنة 1863 ؛ ورامسي Ramsay سنة 1876 وغوي Gouy سنة 1888) . وتنشط هذه الحركة كلما

كانت الجزيئات المعلقة أصغر (براون وثيرن) .

واستنتج ثيرن بأن الاضطراب لا ينشأ في الجزيئات ولا في سبب خارج عن السائل ، بل يجب أن يعزى إلى حركات داخلية تتميز بها حالة السيولة .

والى رامسي ، سنة 1876 ثم إلى الأساتذة دلسولس Delsaulse و كربونال Carbonelle وثيرون Thiron سنة 1877 ، يعزى الفضل في تفسير الظاهرة تفسيراً هو الأبسط :

في حالة سطح واسع لا تحدث الصدمات الجزيئية التي هي سبب الضغط أي زعزعة في الجسم المعلق لأن مجمل الصدمات يجتذب أيضاً هذا الجسم في كل الاتجاهات . ولكن إذا كان السطح أقل من الاتساع المؤهل لتأمين تعويض الاختلالات ، يجب التعرف على ضغوطات غير متساوية ومتغيرة باستمرار من مكان إلى آخر ، لا يستطيع قانون الاعداد الكبرى أن يردّها إلى الوحدة والانسجام ، ولا تكون حصيلتها معدومة بل تتغير باستمرار زخماً واتجهاً ...

وتبنى جان برين هذا المفهوم فاعتقد بأن الجزيئات البراونية يجب أن تعتبر مثل جزيئات سائل ممزوج بالسائل الذي توجد فيه هذه الجزيئات معلقة وانها يجب أن تتوزع ، تحت تأثير الجذب الكوني ، بارتفاعات دقيقة تبعاً لقانون التوازي البارومتري .

وبالنتيجة إذا كان n عدد الجزيئات في كل وحدة حجمية ذات ارتفاع h حيث n_0 هو هذا العدد في الارتفاع صفر ، يجب ان يكون لدينا المعادلة التالية : $\log n/n = Mgh/RT$ ، وتمثل M الكتلة الجزيئية ، أما g فتمثل زخم الجاذبية الأرضية ينقص منها ضغط أرخميدس ، أما R فهي ثابتة تتعلق بالغازات الكاملة وأما T فهي درجة الحرارة المطلقة .

وقياس النسبة n/n_0 الممكن بواسطة التفتيش الميكروسكوبي يتيح - إذا كان القانون المعني محققاً (وهذا ما أثبتته قياسات برين بدون نزاع أو جدل) - تحديد الكتلة الجزيئية للمادة المستعملة التي تشكل الجزيئات البرونية جزيئاتها . إلا أن $M = Nm$ ، باعتبار أن m هي كتلة الجزيئية ، وهي عنصر قابل للتحديد تجريبياً بواسطة العزل عن طريق الميكروسكوب ووزن عدد معروف من هذه الجزيئات .

ونحن لا نستطيع التركيز على الطرق التجريبية لدقتها الشديدة . نقول فقط ان برين بعد جهود كثيرة عرض في سنة 1908 كقيمة احتمالية هي الأقرب القيمة التالية : $N = 6,82.10^{23}$.

نشاط الحركة البراونية - في سنة 1905 قام انشتين Einstein ثم قام مستقلاً عنه سمولوشوسكي Smoluchowski سنة 1906 فاقترحا - على نفس الأسس دائماً - نظرية تتعلق بالحركة البراونية . لاحظا أنه من المستحيل تتبع حركة الجزيئية عبر الزمن ، فاقترحا تمييز نشاط الحركة البراونية بنسبة المربع الوسطي \bar{x}^2 لتنقل جزيئية ما بخلال الزمن τ .

وبينا بأن قيمة هذه النسبة هي ثابتة ، ومتعلقة بمعامل الانتشار D الذي تنتشر به هذه الجسيمات وفقاً للمعادلة $(\bar{x}^2/\tau) = D$.

وهذا المعامل الانتشاري يمكن أن يقرن بعدد أفوغادرو ومعامل اللزوجة η في السائل الموجود بين الفحيات ثم بشعاع الجسيمات الكروية a . وهكذا حصلت لدينا المعادلة التالية $D = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{6\pi\eta a}$ واستعمال الميكروسكوب ، في قياس a و ξ^2 (بالعد المتكرر عدة مرات) أتاح ، بطريقة أخرى ، تحديد N . واعطت تجارب برين (Perrin) (1908-1909) كقيمة هي الأكثر احتمالاً $N = 6,88.10^{23}$ باتفاق تام مع القيمة السابقة .

فضلاً عن ذلك نذكر انه بنفس الحقبة استطاع ليون بريلوين (Léon Brillouin) ان يقيس بصورة مباشرة معامل الانتشار D للحيات وان يبين ان علاقة هذا الانتشار بالنشاط $\xi^2/4$ قد ثبتت بشكل لائق . وأدت دراسة الحركة البرونية للدوران - رغم شدة صعوبتها وقلة وضوحها - إلى نتائج من نفس النوع .

التأرجحات - سنداً للنظرية الحركية في الغازات ، تحتوي الأحجام المتساوية لنفس الكتلة السائلة ، بمعدل وسطي ، نفس العدد n_0 من الجزيئات . ولكن من الواضح جداً ، في لحظة معينة ، ان عدد الجزيئات لن يكون تماماً n_0 ، بل عدداً n ، مرة أكبر ومرة أصغر من n_0 : ويكون هناك تأرجحات في عدد الجزيئات في الوحدة من الحجم ، وتتميز هذه التأرجحات بالفرق $(n-n_0)$ ، إن القيمة الوسطية لـ $(n-n_0)$ معدومة ، ولكن سمولوشوسكي (1909) في عمل أكمله كيوم Kessom (1911) استطاع ان يحسب القيمة الوسطية لـ $(n-n_0)^2$ انطلاقاً من مضغوطية الغاز ، والقيمة الحاصلة تدخل عدد أفوغادرو . ولكن هذه التأرجحات في عدد الجزيئات تترجم بتأرجحات في الثقل النوعي ومؤشر الانكسار ، وكانت أعمال سابقة قام بها رايلي Rayleigh ولورنز Lorenz (1881) قد بينت انه ينتج عن التأرجحات انتشار الضوء في كل الاتجاهات ، وبصورة خاصة بشكل زاوية قائمة في الضوء النازل ؛ ان الزخم المنتشر ، بحكم انه يتناسب مع مقلوب القوة الرابعة لطول الموجة (λ) ، يكون أزخم في اللون الأزرق مما هو في الأحمر . وقياس هذا الزخم المنتشر يتيح قياس عدد أفوغادرو ، على الأقل في الحالتين اللتين يكون فيهما هذا الزخم مهماً نوعاً ما :

1 - إذا كانت كتلة الغاز الناشر أو الباث متناهية الكبر ، مثلاً ، في الفضاء بأكمله : فهذا ما يحدث زرققة السماء . والقياسات الصعبة تعطي تقريباً $N = 6.10^{23}$.

2 - وإذا كان السائل متناهي القابلية للضغط : وهذا ما يحدث عند مقاربة النقطة الحاسية ، إذ عندها تحوّل بعض الجزيئات الإضافية ، محلياً وانتقالياً ، الغاز إلى مائل . وهذا هو تفسير ظاهرة « التلاؤم الحرج » ، المدروسة تجريبياً منذ 1908 من قبل كامرلنغ أونس (Kamerlingh Onnes) وكيوم (Kessom) . ونجد هنا وسيلة جديدة لتحديد (N) تعطي تقريباً : $(7,5.10^{23})$.

ودون أن يعرف انشتين الاعمال السابقة ، قام سنة 1910 بمعالجة نفس هذه المسائل وفقاً لنظرية أكثر كمالاً وتوصل إلى نفس النتائج .

تحديدات أخرى لعدد أفوغادرو - نذكر فقط على سبيل التذكير بعض طرق تحديد هذا

العدد الأساسي الذي له تأثير وعلاقة في فروع أخرى من الفيزياء : التحديد المباشر للشحنة الأولية (e) (الفارادي $\mathcal{F} = Ne$) ، والاشعاعية [النشاط الاشعاعي] والقياس المباشر لطول موجة أشعة X . نذكر أخيراً ان طيف الجسم الأسود يتيح أيضاً الوصول إلى هذا التحديد (المجلد الثالث) . أما القيمة الأكثر احتمالاً للعدد (N) فهي حالياً $(N = 6,023.10^{23})$.

IV - الحرارة المتحركة الاحصائية أو الترموديناميك الاحصائي

انه بفضل تطبيق الميكانيك الاحصائي الذي بناه مكسويل Maxwell وجيبس وبولتزمان Boltzmann ، دخلت درجة الحرارة في النظريات الجزيئية التي تطورت بشكل ضخم بخلال القرن العشرين وهذا يعني ان الترموديناميك قد غزا عن طريق هذه النظريات كبل علوم الفيزياء . ولهذا نكتفي بذكر بعض النقاط المهمة .

درجات الحرارة الشديدة الانخفاض - ان التجارب التي أجريت بخلال القرن التاسع عشر من أجل التوصل إلى درجات حرارة أقرب فأقرب إلى الصفر (المجلد الثالث) قد تنامت بنجاح بخلال القرن العشرين بفضل تقدم التقنية وبفضل تعميق مبادئ الترموديناميك . وكان النجاح الأول الكبير هو التسييل ، بدرجة : $4,2^{\circ}K$ (درجة كلفين Kelvin) لآخر غاز « دائم » وهو الهليوم ، وتم التسييل بفضل هـ . كامرلنغ أونس في مختبر ليد Leyde للتبريد الغازي وذلك في سنة 1908 ، مما أتاح عن طريق تبخير الهليوم السائل الحصول على درجات حرارة أقل من $1^{\circ}K$. وأثبتت البحوث المجراة في مختبر ليد وفي مراكز أخرى مجهزة تجهيزاً خاصاً بعض الخصائص غير المعروفة في المادة عند مقاربة الصفر المطلق : ظاهرة التوصيل الأعلى (راجع دراسة ب . مارزين وج . لوميزك الفصل 9 منذ هذا القسم) (كامرلنغ أونس سنة 1911) . من هذه الخصائص الفريدة أيضاً الخصائص المغناطيسية ، التي اكتشفها كامرلنغ أونس ، وب . ديبه Debye ، وب . ل . كابيتسا Kapitza ، ومنها أيضاً خوارق التمدد الحراري التي أثبتها و . كيسوم ، الخ . ونشير بشكل خاص إلى وجود حالتين محددين في الهليوم السائل ، أحدهما الهليوم رقم 2 الذي يظهر خصائص من السيولة الفائقة (أثبت ذلك م . وولفكي Wolfke سنة 1927 ؛ وكامرلنغ أونس ؛ والان Allan وجونس Jones ؛ وكابيتسا) وبفضل اعتبارات تدخل في الميكانيك الكانتية وادخال مفهوم شبه الجزيئات ، استطاع المنظر السوفييتي ل . د . لندو Landau ان يضع نظرية لهذه الظاهرة الفريدة وذلك سنة 1941 .

ان استخدام طريقة نزع المغناطيسية مع الاحتفاظ بالحرارة (راجع بهذا الشأن دراسة أ . باور وأ . هاربن ، الفصل اللاحق) التي اقترحها سنة 1920 ديبه وو . ف . جيوك Giauque أتاح الحصول على نجاحات عديدة قرب الصفر المطلق . وطرح قياس درجات الحرارة المحققة مسألة صعبة لأن ظهور ظواهر فيزيائية غريبة لم يسمح باستخراج قوانين فيزيائية كانت مستعملة حتى ذلك الحين . وأمكن التغلب على هذه الصعوبة تدريجياً باتباع ظاهرة نزع المغناطيسية ، بتطبيق التعريف الترموديناميكي للحرارة بذلك ، وهو تعريف له أهمية عملية أكيدة .

وهكذا تم الحصول على نتائج ضخمة ، خاصة بفضل كامرلنغ أونس وجيوك ؛ وتوصل هذا

الأخير سنة 1933 إلى درجة حرارة تعادل $0,25^{\circ} K$. وفي سنة 1950 تم الحصول على درجة حرارة تساوي $0,0014^{\circ} K$ وذلك في مختبر ليد (أنظر الفصل 11 من هذا القسم) .

هذه البحوث المزدهرة فتحت مجالاً واسعاً أدى استكشافه إلى استكشافات جديدة تتعلق بخصائص المادة المكثفة ، كما أدى إلى تطبيقات عملية مهمة جداً خاصة في مجال الالكترونيات (اختراع الموصل الالكتروني (الكريوترون) على يد أ . بوك Buck ، سنة 1956 ؛ استخدام التوصيلية العالية جداً لقياس الاشعاعات الضعيفة جداً ، التحكم بالدفق الحراري ، انجاز موتورات بدون احتكاك يذكر ، ومغناطيسيات قوية تعمل بمصادر طاقة خفيفة جداً ، الخ) .

تقنية الضغوطات العالية - أدت تجارب تسييل الغازات التي جرت في القرن التاسع عشر (المجلد الثالث) إلى اللجوء إلى استعمال الضغوطات المتزايدة الارتفاع . وفي القرن العشرين تحققت تقدمات ملحوظة في هذا السبيل أتاحت اليوم الوصول إلى ضغوطات من عيار 500000 جوية وإلى اكتشاف خصائص جديدة عديدة (ت . هال Hall ، كندي Kennedy ، دريكهامر Drickhamer) .

وساهم ب . و . بريدمان Bridgman بصورة خاصة في تحسين هذه التقنية وفي دراسة خصائص المادة الخاضعة لضغوطات عالية جداً : دراسة التوصيلية الكهربائية والحرارية في المعادن ، والفروقات في الخصائص الفيزيائية في البلور ، واكتشاف عدة أنواع من الجليد الأثقل من الماء ، واكتشاف حالة جديدة في الفوسفور مستقرة تحت ضغط 12000 جوية .

ساعدت هذه البحوث في تحسين المعرفة بخواص المادة وبصورة خاصة بالبنية الجزيئية والالكترونية في الجوامد ، كما أتاحت توسيع دراسة التفاعلات الكيميائية ضمن شروط قصوى من الضغط ، ومن درجات الحرارة ، ومن التثبت من بعض فرضيات تناول البنية الداخلية للكرة الأرضية ، وحول منشأ المواد التي تشكل هذه الكرة (راجع دراسة ج . أورسل ، الفصل 2 من القسم الثالث) . نشير بشكل خاص إلى تركيب الماس الاصطناعي وهو تركيب تحقق سنة 1956 تحت 2000 درجة مئوية وتحت ضغط بلغ 150000 جوية في مختبرات جنرال إلكتريك .

استحداث درجات الحرارة العالية - ان أهمية دراسة الفيزياء والكيمياء للظروف القصوى هذه أدت إلى بذل جهد مقابل من أجل الحصول على درجات حرارة عالية ، وهو مجال يتميز أساساً بوجود جزيئات مفككة وبوجود أيونات حرة ونواتج مركبات ماصة للحرارة ، واتقان الطرق الكلاسيكية : مثل النافث الهيدروجيني الذي (1912 Langmuir ؛ ر . و . وود Wood ، 1921) افران حث ، افران قاذفة الكترونية ، افران كهربائية خاصة ، مشاعل الكترونية ، افران شمسية (ف . ترومب Trombe ، 1946 ، الخ) .

كل ذلك أتاح الوصول بشكل عادي إلى درجات حرارة من عيار 3000 إلى 4000 درجة مئوية ، كما أتاح دراسة المادة في هذه الاحوال . واستجندت تفاعلات جديدة وتركيبات طارئة وتقنيات ذات تطبيق واسع ، مما أتاح تطبيقها عملياً . فضلاً عن ذلك ان البحوث الجارية في بلدان مختلفة حول

الذويان الحراري النووي المحكوم وحول فيزياء البلازما قد أُنشأت انتاج - في زمن قصير جداً - درجات حرارة تبلغ عدة ملايين من الدرجات (راجع دراسة ب . موسين وج . لوميزك ، الفصل 9 من هذا القسم) ، وقام بذلك كبايتسا وكورشاتوف Kourchatov في الاتحاد السوفياتي ؛ وبوستيك Bostick في الولايات المتحدة ؛ الخ . ان الكثير من هذه المنجزات الرائعة تسمح بأمال كبيرة ، خاصة في مجالات الفيزياء الذرية ، وفي مجالات فيزياء الكواكب وفي الانتاج الصناعي للطاقة ، فهي لم تتجاوز مستوى تجارب المختبرات ؛ وصحيح ان السياسة المتبعة حول السرية العلمية يمكن ان تؤخر نشر قسم من النتائج المحققة .

وبالمقابل هناك تقنية جديدة هي تقنية نافثات النار البلازما (هي غاز شديد التأين) التي أُنشأت الحصول بشكل عادي على درجات حرارة تتراوح بين 10000 و 20000 درجة مئوية (وحتى 50000) ، وقد دخلت الآن في مجال التطبيق العملي العادي . ويقوم مبدؤها على استخدام التفريغات الكهربائية في الغازات المندرة ، وذلك ببث أو حشر البلازما في حجم مصغري كثافة ثنائية كبيرة . وأول نمط هو البخاخ أو النافث ذو بلازما قوسية وقد ابتكر منذ سنة 1920 على يد هـ . جرديان Gerdien وتحقق عملياً سنة 1951 بفضل هـ . ماكر Maecker بشكل سمي النافث المائي . وهناك نموذج عملي أكثر هو النافث الغازي الذي انجزه ج . جيانيني Giannini ، والباحثون في شركة جنرال إلكتريك .

وهناك طريقة مختلفة طبقت في النافثات البلازما ذات التواتر العالي ، وقد تحققت في مختلف مختبرات البلدان . ورغم أن هذه الأجهزة لم تستعمل الا منذ عدة سنوات ، الا أنها أُنشأت لتقديم توضيحات جديدة حول التفاعلات الكيميائية في درجات الحرارة العالية ، وحول الدراسة التجريبية لأنواع البلازما ، مما أفسح في المجال للعديد من التطبيقات العملية ومنها دراسة النوافير الغازية ذات الحرارة المرتفعة وذات السرعة فوق الصوتية ، وكذلك مسألة عودة المراكب الفضائية إلى الفضاء ، وتليس المنتجات المحصنة ، واعداد وتركيب مركبات متناهية التحصين والمناعة .

التحليلات الكهربائية القوية (الكتروليت Electrolyte) - نشر أيضاً إلى تطبيق الطرق الاحصائية على التحليلات الكهربائية (أي بالكهرباء) القوية : نظرية ديبي Debye وهوكل 1923 (لمزيد من التفصيلات راجع دراسة ب . مرسين وج . لوميزك الفصل 9 من هذا القسم) .

ان محاليل هذه التحليلات الكهربائية تتكون فقط من الايونات : كاتيونات ايجابية وايونات سلبية تتفاعل فيما بينها بشكل كهربائي ستاتيكي وفقاً لقانون كولومب [الكاتيون هو ايون ذو شحنة ايجابية] . وعند نقطة معينة في المحلول تصبح القيمة الوسطى لكثافة الشحنة معدومة اذ يمر بها عدد من الايونات يساوي عدد الكاتيونات . وتقوم الفكرة الاساسية عند ديبي ، وهي فكرة بدلت خصبة جداً ، على البحث عما يجري ، لا في نقطة معينة من المحلول بل في نقطة موثقة الربط بايون معين ، وتتبع هذا الايون في تقلباته ؛ وهنا يكمن تصور مميز جداً ، ولم يتردد ديبي في تطبيق قوانين الترموديناميك الاحصائي ، حتى في هذه الحالة ، فبين عندئذ ان كل ايون يجب ان يحيط نفسه « بفضاء ايوني » استطاع ديبي تحديد ابعاده وثأثيره الطاقوي على الايون المقترن به

وتوافقت النتائج الكمية توافقاً تاماً مع التجربة على الأقل بالنسبة إلى المحلولات المائية جداً .
 الاحصاءات الكانتية - ان الميكانيك الاحصائي عند جيبس وبولتزمان قد تركز على الفرضية القائلة بأن الطاقة في جسيم ما معرضة للتغيرات المستمرة وهذا ما يتيح تبين « مبدأ الاقسام المتساوي في الطاقة » ومن اجل التفسير الصحيح لطيف الجسم الاسود اضطر بلانك الى ترك هذه الاستمرارية والى طرح نظريته في الكانتا (المجلد الثالث) ، وبعد ذلك سيطرت النظريات الكانتية على كل الفيزياء وتوجب اعتبار كل الطاقات (حتى طاقات الانتقال والتوصيل) كمكّمة أي كانتية . وهذا جسرٌ تغييرات أساسية في عرض الميكانيك الاحصائي : اذ توجب استبدال المتكاملات بسلاسل : ولم يعد هناك ثابتة تكامل جاهزة بل حلت محلها الثابتة h ، أي ثابتة بلانك ، في كل مكان .

الا أن التغير في المعادلات والصيغ كان بسيطاً ؛ فعلى العموم يجب أن نكتب انه اذا كانت الطاقات الممكنة هي E_0, E_1, E_2, \dots ، فان عدد الجزيئات ذات الطاقة E_i يساوي $A \exp(-E_i/KT)$ ويكون عامل النسبة A محدداً بمعرفة العدد الاجمالي للجزيئات . وعندها يسهل حساب الكميات المختلفة الطاقوية .

ان النمو اللاحق في الميكانيك الكانتية قد أثبت الصفة الاساسية في عدم إمكان التفريق بين الجزيئات المتشابهة ، وادخل مفهوم الدوامية (سبين Spin) (مع مبدأ الاستبعاد المنسوب إلى بولي) ، وقد أدى هذا التطور إلى أساليب جديدة في تعريف وفي حساب النسبة داخل تركيبة ما .
 والنتيجة المتحصلة هي أنه من الواجب استبدال $A \exp(-E/KT)$ بـ :

$$1/[\exp(\lambda + E_i/KT) - 1]$$
 إذا كان مبدأ الاستبعاد لا يطبق (احصاء بوز - اشتين ، 1924) وبـ

$$1/[\exp(\lambda + E_i/KT) + 1]$$
 إذا كان هذا المبدأ يطبق (احصاء فرمي - ديراك ، 1925) . ان الثابتة المعيارية λ تحل محل ثابتة النسبة السابقة وتحسب انطلاقاً من العدد الاجمالي للجزيئات . وإذا استثنينا حالات خاصة (مثل حالة الالكترونات الايصالية في المعادن ، الخ .) ، تكون الأسية دائماً فيه اكبر من واحد ، وتتم الحسابات كما أسبقت الإشارة أعلاه .

الحرارة النوعية في الغازات ؛ اورثو وشبه الهيدروجين - من بين الكميات الطاقوية التي اتاحت الاحصاءات الكانتية حسابها تذكر بشكل طبيعي الحرارة الذاتية أو النوعية . وفي حالة الغازات يكفي التعرف ، عدا عن كل الجزيئات إلى عزوم جمودها وإلى تواترات ذبذبتها الخاصة ، وهي مقادير تمكن المطيافية من تحديدها ، على الأقل بالنسبة إلى الجزيئات البسيطة بشكل كاف وخاصة بالنسبة إلى الهيدروجين (H_2) .

ويمكن إذا وبصورة مسبقة وبالنسبة إلى كل درجة حرارة ، حساب الحرارة الذاتية أو النوعية لغاز الهيدروجين (H_2) اذا كان التوازن الحراري بين كل الجزيئات محققاً . وتكون النتائج ، في درجات الحرارة المنخفضة جداً ، مخالفة للتجربة . وهذا يعود ، اذا كانت ذرات الهيدروجين (H_2) المكونتان متماثلتين ، إلى أن الدوامات النووية يمكن أن تكون اما متوازية اما مناقضة للتوازي ؛

ولكن الانتقال من إحدى هذه الحالات إلى الأخريات هو قليل الحدوث ، ومن هنا ينتج ان التوازن الكامل لا يحصل الا بصورة بطيئة جداً . وإذا بتوجب في الحقيقة اعتبار الهيدروجين المبرد جداً كمزيج من غازين ، الاورتهيدروجين (وفيه تكون الدوامات النووية متوازية) والباراهيدروجين (وفيه تكون الدوامات متناقضة) (دنيسون 1927 ، Dennison) . وفي درجة الحرارة العادية حيث يتم التوازن ، يوجد 1 باراهيدروجين و 3 أورتهيدروجين في حين أنه في الدرجات الحرارية المنخفضة جداً وحده الباراهيدروجين يبقى اذا كان التوازن محققاً . وعند إجراء حساب الحرارة الذاتية في الغازين كل على حدة ، ومع افتراض بقاء النسبة كما هي في درجة الحرارة العادية ، نحسب حرارة ذاتية تكون هذه المرة متطابقة مع المعطيات التجريبية . انما يمكن أيضاً بواسطة العناصر المساعدة الملازمة زيادة سرعة التحولات وبالتالي الحصول على درجات الحرارة المنخفضة بالنسبة إلى الباراهيدروجين النقي عملياً : ان الحرارة النوعية في هذا الغاز تتطابق مع التوقعات النظرية .

الحرارة النوعية في الجوامد - رأينا في (المجلد الثالث) كيف يتيح مبدأ التقاسم المتساوي في الطاقة ، المطبق على ذبذبات ذرة من جامد متبلر ، تفسير قانون دولونغ $Dulong$ ، وبيتي $Petit$ ، انما دون الكشف عن واقعة تغير الحرارة النوعية للجوامد مع تغير درجة الحرارة ، وان هذه الحرارة تنزع نحو الصفر كلما اقتربنا من صفر مطلق .

في سنة 1907 خطرت لأنشتين فكرة مفادها ان الذرات المتذبذبة التي تكون الجوامد يجب أن تشبه بالمضخمات التي تخيلها بلانك ليوضح طيف الجسم الاسود .

ان الطاقة الوسطى بالنسبة إلى كل درجة من الحرية ، لا يجب أن تكون إذا kT كما يقضي بذلك مبدأ التقاسم المتساوي في الطاقة بل تكون $h\nu / (\exp(h\nu/kT) - 1)$ ، ويتج عن ذلك بالنسبة إلى الحرارة النوعية العبارة التالية $(E) = 3RE$ وفيها تكون $\xi = h\nu/kT$ و $E(\xi) = \xi^2 e^{\xi} / (e^{\xi} - 1)$ ، دالة $E(\xi)$ ، دالة أنشتين » .

ويتج عن هذه الصيغة ، في درجات الحرارة المرتفعة نوعاً ما ، ان الحرارة النوعية تساوي حتماً $3R$ ، كما يقضي بذلك قانون دولونغ وبيتي ، وان هذه الحرارة تنزع نحو الصفر بدرجات الحرارة المنخفضة جداً . وللأسف ان تراجع هذه الحرارة النوعية بتراجع درجات الحرارة هو اسرع بكثير مما تدل عليه التجربة .

في سنة 1911 اشار نرست وليندمان إلى أننا نحصل على توافق أفضل اذا افترضنا وجود تواترين ν و $\nu/2$ وبالتالي اذا اخذنا كرمز للحرارة الذاتية هذه الصيغة $[E(\xi/2) + E(\xi)] R (3/2)$.

في نفس السنة اشار أنشتاين إلى وجود عدد كبير جداً من التواترات التي تشكل طيفاً كاملاً . وقد عولجت المسألة بأن واحد وبشكلين مختلفين سنة 1912 من قبل ديبي ومن م . بورن وفون كرمان $Von Kármán$. واعتبر الاول ان مطلق جسم جامد هو وسط مستمر تطبق عليه قوانين

المطاطية ، أما الآخران فاعتبراه كمجموعة من النقط المادية المتأرجحة حول عقد من شبكة مكعبة . وكانت النتائج المحسوسة هي ذاتها ، وتؤدي على الأقل في تقريب أول الى تمثيل الحرارة النوعية بعبارة $(\frac{3}{2}RD)$ وفيها تساوي $\xi = hv/kT$ ، ولكن حيث v تساوي تواتراً أقصى و $D(\xi)$ هي دالة معقدة نوعاً ما تنزع نحو الوحدة في درجات الحرارة العالية (تأويلاً أيضاً لقانون دولونغ وبتي) ، ثم نحو الصفر في درجات الحرارة المنخفضة ، تقريباً مثل مكعب درجة الحرارة ، مما يعطي هكذا نتائج اقرب بكثير الى التجربة (راجع أيضاً في هذا الشأن دراسة آ . غنيه ، الفصل 4 من هذا القسم) .

وبعد ذلك اتاحت التحسينات المتنوعة التي أدخلت على هذه النظرية ، أيضاً تحسين هذا التوافق بتأويل الزيادة الصغيرة أبعد من قيمة $3R$ في درجات الحرارة المرتفعة جداً ، ومع تأويل بعض الشذوذات الملاحظة في درجات الحرارة المنخفضة بالنسبة الى مختلف الاجسام ، مثل سلفات الغادولينيوم .

٧ - الطاقة المشعة

رأينا ان بلانك Planck افترض سنة 1900 نظرية الكانتا ، وفسر بشكل صحيح طيف الجسم الاسود . ومعادلة بلانك لم تكن موضوع أي تغيير ، ويبدو انها من احدى الصيغ الاكثر ضماناً ووثوقاً في الفيزياء ، ولكن في القرن العشرين بذلت جهود من أجل توضيح الظاهرات التي تؤمن ، بواسطة التفاعلات بين الاشعاع والمادة ، ثبوتية هذا التركيب الطيفي للاشعاع الاسود . ان العمل الاساسي ، قام على مذكرة قدمها انشتين سنة 1917 درس فيها بالتفصيل تبدلات الطاقة بين الجزيئات التي من شأنها امتصاص ، وبث الاشعاع الذي يحتوي هذه الجزيئات .

في هذه المذكرة قرر انشتين بشكل اكيد انه ، حتى يكون قانون الاشعاع الاسود هو قانون بلانك ، وعملية الامتصاص والبث المتساويين ، تذكّي الاضطراب الحراري في الجزيئات ، من الضروري :

1 - ان يؤثر الاشعاع ، كما لو كان مكوناً من حبيبات أو كانتا ضوئية : وهذه هي الرسمية الاولى لما نسميه اليوم نظرية الفوتونات .

2 - ان يقدر بث الاشعاع من قبل جزيء شار على الحدوث بشكل مستقل عن الاشعاع الذي يغطي هذا الجزيء (وهذا ما يسمى بالبث العفوي) ، وأن يكون الاشعاع متناسباً مع كثافة الطاقة في هذا الاشعاع (وهذا ما يسمى بالبث المثار أو المحفوز) . ومن الملحوظ تماماً أنه أي بلانك قد توصل الى اعطاء علاقة الاحتمالات في حالتي البث العفوي أو المثار قيمة تماثل القيمة التي توصلت اليها النظريات الاكثر حداثة بشأن البث (راجع أيضاً بهذا الموضوع دراسة ب . مرسين وج . لوميزك ، الفصل التاسع من هذا القسم) .

وقد امكن توضيح عمل انشتين وتعميمه فيما بعد . ومع ذلك بقي احد الاعمال الاكثر اهمية التي نشرت حول مسألة « توازن الاشعاع والمادة » .

المغناطيسية

من المعلوم ، بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، تطوّر علمنا بالظواهر الكهربية والمغناطيسية . الا ان معرفتنا بالخصائص المغناطيسية في المادة لم تتقدم الا بشكل بطيء . فلتذكر بعض مراحل تاريخها :

يبيّن كولومب الاهمية الاساسية لمفهوم العزم المغناطيسي ، ومنح عزمًا للجزيئات بالذات (المجلد الثاني) . وقرّر بواسون Poisson نظرية المغناطيسية بالتأثير (المجلد الثالث) ؛ واقترح أمبير Ampère فرضية التيارات الجزيئية (نفس المرجع) . ولم يكن الامر يتعلق حتى ذلك الحين الا بالمغناطيسيات الحديدية مثل الفولاذ والحديد الابيض ، الخ . واكتشف فراداي ان كل الاجسام يمكن ان تتمغنط . وقسمها الى ثنائية المغناطيس والى كاذبة المغناطيس والى حديدية المغناطيس ، وقاس هذه الخصائص . وبعد ذلك بقليل قام و . تومسون Thomson فطوّر نظرية رياضية حول المغنطة على اسس حدثانية ظاهرية . واخيراً توصل و . ويبر Weber ، من خلال أفكاره العامة حول الكهرباء الى اعطاء صورة جسيمية عن التيارات الجزيئية عند أمبير ، وهذه الصورة هي رسيمة لمعارفنا الحالية .

ومن بين الاعمال اللاحقة يجب ان نظهر اعمال المهندس ج . آ . ايونغ Ewing الذي بين في الفترة 1890 - 1892 اهمية التزاوج بين المغناطيسات البدائية المتجاورة ، في مجال الحديد الممغنط .

ووضع لهذه الغاية نموذجاً : عدداً كبيراً من الابر الصغيرة البوصلية وضعت على ركائز مصفوفة بانتظام وقريبة بعضها من بعض حتى يكون اثرها في بعضها البعض مغناطيسياً محسوساً : في حقل خارجي متساعد أو هابط ، لوحظت تغيرات مفاجئة في اتجاه مجموعات كاملة من الابر ، وشكلت الخطوط المنحنية الملحوظة في حصيلة المغنطة حلقات غير قابلة للارتداد شبيهة بمنحنيات التأخيرات في رداد الفعل في الحديد وفي النيكل .

انها تجربة ملفنة ، ولكن الامر ، كما سنرى لا يمكن ان يتعلق بتزاوج مغناطيسي ، والتفسير

الحقيقي لهذه الاستنتاجات المهمة جداً بالنسبة إلى التقنية كان عليه أن ينتظر أكثر من 40 سنة . وفي نفس الحقبة تقريباً نشرب . دوهيم نظرية المغنطة المركزة على مبادئ الحرارة المتحركة أو الترموديناميك (1888) .

طرح بيار كوري Pierre Curie - ولكن كي يكون تطبيق الترموديناميك مشمراً بحق على هذه الظواهر ، كان لابد من معرفة كيفية تغير الخصائص المغناطيسية في الاجسام تبعاً لتغير درجة الحرارة . وقد أجريت بعض التجارب في هذا الشأن ، ولكن هذا الحقل من البحث فتح بحق من قبل بيار كوري . وعمله الاول كان اطروحته سنة 1895 متبهاً عن قرب نشر هـ . آ . لورنتز Lorentz لنظرية الالكترونات ، فلدشن الحقبة الحديثة في تاريخ المغناطيسية ، واستطاع بقياسات في غاية الدقة والبساطة ان يضع قانونين أساسيين حمل القانون الثاني منهما اسمه :

القانون الاول : بالنسبة الى الاجسام المعاكسة المغناطيسية ، وحيث تكون المغنطة المشحونة من قبل حقل مغناطيسي ، باتجاه معاكس لهذا الأخير ، يكون معامل المغنطة - اي معامل النسبة بين هاتين الكميتين ، اذا رُدتا الى وحدة الكتلة - الضعيف جداً والسلبى ، مستقلاً عن درجة الحرارة .

القانون الثاني : بالنسبة إلى الاجسام شبه المغناطيسية ، حيث يكون المعامل ايجابياً دائماً وصغيراً نوعاً ما ، فهو يتغير باتجاه عكسي مع تغير درجة الحرارة المطلقة .

واستنتج كوري ما يلي : ان الفرق في تأثير درجة الحرارة على معامل المغنطة في الاجسام (شبه) المغناطيسية ، والاجسام المعاكسة المغناطيسية ، هذا الفرق بارز بشكل مطلق ، وهذه النتائج تؤيد النظريات التي تعزو المغناطيسية والمغناطيسية المعاكسة الى أسباب مختلفة .

اما الاجسام الحديدية الممغنطة فليس لها معامل مغنطة محدد تماماً بل هي سر كز ظواهر غير اوتدادية . الا اننا نستطيع تحديد « منحني المغنطة » في درجات حرارة مختلفة ، وتدل هذه التجارب على ان الجسم الحديدي المغناطيسي يتحول بصورة تدريجية ، عندما نسخنه ، فيتخذ خصائص الجسم ذي المغنطة الخفيفة (او شبه المغنطة) .

ان زوال المغنطة الحديدية في درجة الحرارة المرتفعة هو ظاهرة معروفة نوعياً ، منذ عصر النهضة على الاقل . ودرجة الحرارة التي تنتهي عندها المغنطة معروفة تماماً وتسمى « نقطة كوري » .

نظرية لانجفين . - في سنة 1905 فقط توصل ب . لانجفين ، بعد محاولات قام بها و . فوات Voigt وج . ج . تومسون الى وضع نظرية الكترونية كاملة للظواهر المغناطيسية المعاكسة وشبه المغناطيسية ، واستلهم افكار لورنتز Lorentz ولارمور Larmor ، والنتائج التجريبية التي توصل اليها كوري ، فاستطاع ان يصف بدقة التفاعليتين الذريتين المختلفتين اللتين اعطتا مفتاح قوانين اكتشافها هذا الأخير اي كوري .

فبالنسبة الى المغناطيسية المعاكسة كانت الفرضيات الركيزية قريبة من فرضيات كان وضعها

في الماضي و . وير ، انما مترجمة بلغة الكترونية . اما نتائج هذه الفرضيات فقد طورت بفضل الحساب الدقيق .

واذا كانت غالبية الاجسام ذات مغناطيسية معاكسة فذلك انه في خلاياها تتجه المدارات الالكترونية باتجاه معاكس بحيث ان مفاعيلها المغناطيسية البعيدة يعادل بعضها بعضاً ويحيث يكون عزمها الحاصل معدوماً . ولكن ان وضعنا بصورة تدريجية حقلاً مغناطيسياً خارجياً فان تغيره يولد في كل الفضاء - كما بين ذلك ماكسويل ، (المجلد الثالث) - حقلاً كهربائياً حاثاً ، يلف حول خطوط مغناطيسية ، ويسرع أو يؤخر حركة الالكترونات بشكل يتعارض مع التغير الذي ولده (نفس المرجع) اي انه يخلق حقلاً مغناطيسياً معاكساً . وكل خلية تكتسب بالتالي وبصورة تدريجية عزماً حاثاً ، أي مشحوناً مغناطيسياً ، موجهاً باتجاه معاكس للحقل الحاث ويتناسب مع القيمة النهائية لهذا الحقل .

ان البنية الالكترونية للجزيئات تتغير قليلاً جداً بتغير درجة الحرارة : وكذلك الحال بشأنها فيما يتعلق بقدرتها المحتملة على التمنطع المعاكس .

ان المغناطيسية المتوازية Paramagnétisme ، كما هي برأي أمبير وفراي ووير ولانجفين تفترض ان خلايا الاجسام المغناطيسية تحمل كلّها عزماً دائماً ، وهذا العزم يتحدد ببنية هذه الاجسام الالكترونية : في هذه الجزيئات الخاصة - ولاسباب كانت مجهولة في تلك الحقبة - لم يعد التكافؤ المبكى عنه يتحقق .

بالنسبة إلى وير ، هناك قوى مطاطية ذات منشأ مجهول توجه هذه العزوم بكل الاتجاهات بحيث تلتقي - في حقل عدم - كل مغنطة ظاهرة . ان نظرية لانجفين لا تُدْخِل الا طاقتين : الطاقة المغناطيسية في المغناطيسات الاولى ، في حقل خارجي ، وطاقة التحرك الحراري . وهذه الطاقة الاخيرة هي التي تزرع الاضطراب في توجه العزوم ، وهي التي ترد الى الصفر المغنطة الحاصلة ، في حين ان الحقل الخارجي يعمل على توجيه كل هذه العزوم بشكل يوازي خطوط القوى . هناك صراع بين هذه التوجهات المتعاكسة . وهي تنتهي بان تتوازن ، وهذا التوازن محكوم بصيغة وضعها بولتزمان بشكل « نظرية حركية في الغازات » وتدل هذه الصيغة على ان التوزيع الاحصائي - في درجة حرارة مطلقة T - لعدد كبير من الانظمة ، في ما بين مختلف مستويات طاقتها W ، يتناسب (اي التوزيع الاحصائي) مع العامل $\exp(-W/kT)$ وفيها تكون k ثابتة بولتزمان (المجلد الثالث) .

وتجدر الاشارة ان بلانك ولانجفين كلّا على حدة كانا الاولين في توسيع تطبيق هذه الصيغة لتشمل حركات اخرى غير مجرد الانتقالات وبالتالي اثبات اهميتها .

وافترض لانجفين (كما كان من الطبيعي ان يكون الامر سنة 1905) ان كل الاتجاهات بالنسبة الى الحقل الخارجي H متساوية في امكانها . وهذه الفرضية قادته ، بالنسبة الي المغنطة الحاصلة ، الى قانون بسيط يصف خصائص الكثير من الاجسام المتساوية المغناطيسية عن قرب

قريب . في درجات الحرارة المرتفعة والمتوسطة تكون الطاقة W في المغناطيسات الأولية ، داخل الحقول التي نعرف كيف نحدثها ، صغيرة بالنسبة الى الطاقة الحرارية kT : وعندها تصبح الاسات المثقلة مجرد مستقيمات والمغنطة الحاصلة تصبح مناسبة للنسبة H/T من الحقل الواقع في درجة حرارة مطلقة . مما يعني وجود معامل مغنطة مستقل عن الحقل ، ويتناسب عكسياً مع T وهذا هو قانون كوري . وفي درجة حرارة منخفضة جداً داخل الهليوم السائل يحصل العكس ، وفي داخل الحقول القوية تكون W/kT كبيرة ، والاضطراب الحراري لا يمكنه ان يقضي على الاضطراب أو التشوش ، وتتموضع المغناطيسات الجزيئية على موازاة الحقل تقريباً . ويتبع عن ذلك مفعول اشباع تساوي مغناطيسي « كان قد لوحظ لأول مرة سنة 1914 ، في ليد Leyde ، من قبل كامرلين Kammerlingh اونس ، في سولفات الغادالينيوم . وسوف نعود الى نتيجتين مهمتين من نتائج النظرية كان لانجفين قد اشار اليهما وهما : قياس العزم المغناطيسية الجزيئية ، وظاهرة المغناطيسية الحرارية .

نذكر ان احدي فرضيات لانجفين الاماسية وهي وجود جزيئات أو ذرات تحمل مدارات الكترونية خالقة لعزم مغناطيسية دائمة ، تبدو غير مفهومة اطلاقاً ، في النظرية الكلاسيكية ، (رغم انها تعود في الواقع الى امبير) . وحده الكم العملي الذي اكتشفه بلانك هو الذي امن لهذه المجالات الاستقرار المطلوب . ولم يدرك ذلك الا بصورة تدريجية ، فقط بعد ان كان بوهر Bohr قد طور نظريته حول الذرة .

ومن جهة أخرى اهتم لانجفين عن قصد التفاعلات الجزيئية التي من شأنها ان تضايق التوجه الحر للعزم الأولية . فقد عرف ان قانونه ، ومنحنى المغنطة تبعاً للحقل ، يطبقان فقط على الاجسام التي يمكن ان تسمى ، تشبيهاً مع الغازات الكاملة ، الاجسام المتوازية المغناطيسية ، الكاملة . ولكن من بين هذه الاجسام يوجد العديد من البلورات التي تتلاصق فيها الذرات . هذا الحدث الغامض لا يمكن فهمه الا عن طريق النظرية الكانتية حول بنية الذرات والجزيئات والبلورات فقط .

الحقل الجزيئي الذي قال به بيار ويس . المغنطة المفاجئة - ان التفاعلات بين حاملات العزم تلعب دوراً مسيطراً في المغناطيسات الحديدية ، وكذلك القوى التي قال بها فان دروالس Van der Waals ، بين الجزيئات في السوائل وفي بعض الاجسام الجامدة . في حين اكتفى لانجفين بالاشارة الى هذه المماثلة ، غمل بيار ويس Pierre Weiss على توضيحها وتطويرها . فقد دلت التجارب المتتالية بين 1896 و 1905 على بلورات حديدية مغناطيسية (المائيتية والبيروتين) ذات الخصائص المتباينة ، على مفهوم « الحقل البنيوي » . وفي سنة 1907 نشر فرضيته حول الحقل الجزيئي .

ان هذا الحقل هو فعل توجيه متبادل بين حاملات العزم المغناطيسي ، ونمط « المفاعيل التعاونية » ، التي تلعب دوراً مهماً جداً في الفيزياء الكيميائية الحديثة : فهو يزداد تبعاً للتوجه المشترك اي تبعاً للترتيب الداخلي . وهذا الترتيب ، وهذا التوجه المشترك يقاسان بفعل المغنطة .

ويؤمن ويس بأنّ الحقل الجزيئي يتناسب مع المغنطة ، وهو يراكم هذه الفرضية مع قانون المساواة المغناطيسية الذي قال به لانجيفين ، وحصل بالتالي على تفسير بسيط وخصب (رغم أنّه غريب ومغالط في الظاهر) للمغناطيسية الحديدية . وقد بين بالفعل ان الحالة المستقرة في جسم حديدي مغناطيسي تتضمن ، في درجات الحرارة الوسطى والمنخفضة ، وخارج كل حقل ، مغنطة مفاجئة . وهذه المغنطة تعود الى الحقل الجزيئي ، اي الى التفاعلات التعاونية بين حاملات العزم او الشحنات المغناطيسية . وتنزع هذه المغنطة الى الاشباع في جوار الصفر المطلق . وعندما ترتفع الحرارة ، تنخفض المغنطة اكثر فاكثر لتزول عند نقطة كوري . وعندها يصبح الجسم متساوي المغناطيسية اي عديمها ظاهراً فيخضع لقانون كوري - ويس وهو تعميم لقانون كوري .

واذا كانت المغنطة المفاجئة لم تظهر إلا في التجارب المعتادة ، فذلك لانها لا تؤثر - حتى في البلورات الوحيدة التكوين - في مجالات صغيرة يكون فيها التوجه مختلفاً بين بلورة واخرى ، بحيث يحصل تكافؤ وتعاقل في الاجمال . ودور الحقل الخارجي يقوم على رد هذه التوجهات الجزيئية الى توازن كامل نوعاً ما . وإذا كان هناك تخلف - في الحديد القاسي مثلاً - فذلك لان ضياع المجالات لا يستمر حتى النهاية .

وظهرت افكار ويس غريبة في بادىء الامر ، ولكن تطور النظرية واكتشاف ظاهرات جديدة بفضلها ادبا بصورة تدريجية الى الاقتناع بها . وفي سنة 1919 استطاع باركهوسن Barkhausen بعد ان استعمل مضخماً للصوت ، ان يسمع طقطقة سببها رجوع متتال للمغنطة من مختلف المجالات الى حقل متغير . وفي سنة 1931 استطاع بيتر Bitter بعد ان غطى سطح بلورة رقيقة بغشاء غرائي من مادة مغناطيسية ، ان يرى المجالات بواسطة المكروسكوب ، وان يدرس بالتالي سلوكها في حقل خارجي . ان هذا التوسيع للطريقة القديمة التي تستعمل برادة الحديد ، قدم معلومات ثمينة حول المغناطيسية الحديدية .

حرارة نزع المغنطة والاقتراب من الصفر المطلق - استطاع لانجيفين بعد ان طور نظريته الاحصائية حول توازي المغناطيسية ، ان يبين أنّ كل تغيير في المغنطة يجب ان يقترن بظاهرة حرارية . وبالفعل ان نزع المغنطة مثلاً بحكم أنّه تضليل للعزم النموذجية الأولية ، يتوافق مع زيادة في الاضطراب الجزيئي وبالتالي في قصور الحرارة الذي هو احد مقاييس هذا الاضطراب . وكان لا بد اذاً - اذا اردنا الابقاء على درجة حرارة الجسم الذي تنزع منه مغناطيسيته - من اعطائه الحرارة اللازمة . وإلا ، اذا كانت العملية تجري ضمن عازل مغناطيسي ، فإنّ الحرارة الضرورية لتخريب المغناطيسيات الأولية ، تؤخذ من الحركات الاخرى الجزيئية ، وعندها يبرد الجسم . هذا الاثر كان من الصعب تحقيقه في الاجسام المتساوية المغناطيسية في درجة الحرارة العادية . ولكن كما ذكر ديبى Debye وجيوك Giauque سنة 1924 يصبح هذا الاثر ملحوظاً في جوار الصفر المطلق ، وذلك لسببين : الاشباع المغناطيسي السهل في الحقول القوية ، وتدني قيمة الحرارة النوعية الملازمة للذرات في الاجسام الصلبة .

وتمت التجربة على بلورات متوازية المغناطيسية مغطّسة في الهليوم السائل (جيوك ، دي

ماس de Haas وسيمون Simon) . ووضعت طريقة « نزع المغناطيسية في العازلات الحرارية » ، واتاحت استكشاف مجال درجات الحرارة التي تقل عن 1°K حتى الي ما وراء $0,01^{\circ}\text{K}$ (درجة كلفين Kelvin) .

نقطة كوري ، الانتقال من الدرجة الثانية - وهناك ظاهرة اخرى مهمة يمكن تفسيرها بطريقة مماثلة : عندما يرفع حديد ممغنط بصورة تدريجية الى حد نقطة كوري ، فان مفتطته المفاجئة والتي كانت قريبة من حد الاشباع ، تأخذ بالتناقص بسرعة : ويستقر الاضطراب بين اتجاهات العزم الاولية وينتج عن ذلك حفظ حرارة يضاف الى المحفوظات الحرارية الحاصلة من الحركات الذرية الاخرى . ان كل حديد مغناطيسي يجب ان يكون له - فوق نقطة كوري - خرق للحرارة الذاتية : فيزداد هذه الحرارة ثم تصل الى حد اقصى حاد عند درجة حرارة كوري ، ثم تسقط بعدها فجأة لتستقر عند قيمة « عادية » . وقام ب . ويس بحساب وقياسات (1908) : واثبت التجربة تقريباً توقعات نظرية الحقل الجزيئي .

وعدا عن الخرق في الحرارة الذاتية ، تم التنبؤ وتم رصد خرق مطابق في معامل التمدد (شيفنارد Chévenard ، بويسر Bauer ، فولر Fowler وكايتسا ، 1929) . ان نقاط كوري حول الحديد الممغنط كانت اولي « نقاط الانتقال من النوع الثاني » أو « الانتقالات بين النظام والاضطراب » (بدون تغيير في المرحلة) وهذه النقاط قد درست بصورة كاملة تقريباً . وتم تعريف هذه الظواهر وتحليلها من وجهة نظر حرارية تحركية عامة سنة 1933 من قبل اهرنفست Ehrenfest ، ولكن نظرية الحقل الجزيئي ، عند ويس استخدمت كنموذج أول في التفسير التفصيلي لهذه الظواهر .

ان هذه النظرية هي تقرب نصف عملي . ولا شيء في الفيزياء الكلاسيكية يبرر وجود طاقة بمثل ضخامة هذا التفاعل ، تتناسب مع مربع المغنطة . وفهم ويس ان هذه الطاقة هي اكبر من ان تنسب الي قوى مغناطيسية . وفي الواقع انها كالعزم الاولية بالذات من منشأ كائني .

المغنيطون - ابتداء من سنة 1913 ، وانطلاقاً من مذكرات أساسية وضعها نيلس بوهر حول بنية الذرات ، أخذت النظرية الكائنية حول المغناطيسية تتطور . وفي الوقت ذاته تقريباً شاع في جميع الجهات ان التكميم في المدارات الالكترونية يؤدي إلى وجود عزم مغناطيسي أولي تحدد قيمته بثابت بلانك h ، وبالشحنة الأولية e وبالكتلة m في الالكترون ، وانها تسمى مغنيطون بوهر . وهكذا وجدت مبررات لفرضيات أمبير وويسر ولانجفين .

وقد سبق بعدة سنوات ، ان قام ب . ويس وتلاميذه باتخاذ عدد كبير من القياسات الدقيقة حول معاملات المغنطة المتوازنة في مغناطيسيتها ، لكي يستخرج منها بفضل صيغة لانجفين ، قيمة العزم الذرية . ومنذ 1911 استنتج ويس من ذلك ان كل هذه العزم هي مضاعفات كاملة لعزم أولي هو مغنيطون ويس الذي تعطيه التجربة قيمة أعلى بقليل من خمس مغنيطون بوهر .

إلا ان القياسات الدقيقة التي جرت سنة 1918 من قبل بويزر وبيكار Piccard حول الغازات

المتوازنة المغناطيسية - حيث يكون الدوران الحر للعزم الأولية مؤكداً تقريباً - لم تثبت نظرية مغنيطون ويس بل أثبتت ، في حالة الاوكسجين نظرية بوهر .

النظرية الكاثية . تكميم الفضاء - ان التطور السريع في نظرية الكائنات غير وأوضح بصورة تدريجية الافكار حول المغناطيسية . في سنة 1915 طبق آ . سومر فيلد على حركات الالكترونات في الفضاء طرق التكميم التي وضعها بوهر . وبين انه ليس بالامكان حفظ الفرضية (التي وضعها لانجفين) والقائلة بإمكانية متساوية ، في كل اتجاهات العزم الأولية بالنسبة إلى الحقل المغناطيسي . هنا يدخل التقطيع كما في أي مكان آخر وفيما خصص المدارات ذات الكانتوم السمي (الكمية العظيمة) ، مثلاً ، لا يمكن ان يكون العزم المغناطيسي الحاصل من حيث المبدأ إلا موازياً أو معاكساً - موازياً أو عامودياً على الحقل .

في سنة 1921 أثبت سترون Stern وجرلاخ Gerlach بتجربة مباشرة « هذا التكميم في الفضاء » : ان النافورة من ذرات النحاس المقدوفة في الفضاء تنفصل في حقل مغناطيسي غير متجانس إلى نافورتين مختلفتين تماماً ومتوافقتين مع التوجهات الموازية والمعاكسة - المتوازية . ولكن المكون الثالث غير موجود ، والانحراف الملحوظ يتيح حساب قيمة العزم : وهكذا تقريباً يتم العثور على مغنيطون بوهر .

ان هذه الطريقة حول النافورات الذرية (أو الجزيئية) تلحق مباشرة بالمغناطيسية في شكلها الأولي ، دون ان تقتصر ، كما هو الحال بالقياسات الكلاسيكية ، على الآثار الاحصائية . وفيما بعد استعملت هذه الطريقة كثيراً .

دوامة الالكترون وعزمها المغناطيسي - في سنة 1925 اكتشف أوهلنبك Uhlenbeck وغود سميت Goodsmitt ان البنية في ضمايم الخطوط الطيفية وأثرها المنسوب إلى زيمان يفسران تماماً إذا افترضنا ان حالة الالكترون لا توصف بكاملها بفضل تحديد موقعه وسرعة انتقاله في الفضاء ، بل انه فضلاً عن ذلك مزود بدوران حول ذاته أو « بدوامة » ، وهي حركة مكتمة بشكل أساسي : ان عزمه الحركي يساوي نصف كانتوم ($h/2$) ويخلق عزمًا مغناطيسيًا يساوي مغنيطون بوهر . والعلاقة بين العزم المغناطيسي والعزم الحركي هي ضعفا ما تنبأ به الحساب بالنسبة إلى مدار الكتروني (e/m بدلاً من $e/2m$) وهذا يتوافق مع نتيجة حصلت في النظرية الكلاسيكية بالنسبة إلى كرة مكهربة على يد آ . لورنتز . وأخيراً ، في حقل خارجي لا تستطيع هذه العزوم الا أن تأخذ اتجاهين : المتوازي وعكس المتوازي .

الآثار المغناطيسية الدورانية - ان اكتشاف دوامة الالكترون ، الذي أوحى به الارصاد الابصارية ، غير بعمق تمثلنا أو تصورنا للظواهرات المغناطيسية . فهذا الاكتشاف فسر أحجية طرحتها دراسة المفاعيل المغناطيسية الدورانية التي اكتشفت بصورة مستقلة سنة 1914-1915 من قبل بارنت Barnett في أميركا ومن قبل انشتين وهاس في اوروبا .

ومبدأ هذه التجارب بسيط نوعاً ما .

فقد كان معروفاً منذ عشرين سنة ان كل عزم مغناطيسي يرتبط بعزم حركي في جزيء مكهرب ، مثل الالكترون مثلاً . وإذاً يمكن توقع مفعولين قابلين للقياس :

1 - اذا قلبنا بسرعة الحقل ، فاننا نقلب مغنطة قضيب صغير من الحديد الأبيض ، ونعكس اتجاه الدوران ، وعزم اندفاع الكتروناته المغناطيسية ؛ وينتج عن ذلك مزدوج : فيعطي قياس هذا المزدوج العلاقة أو النسبة المغناطيسية الدورانية بين العزم المغناطيسي الأولي والعزم الحركي . تعطي نظرية الممارات القيمة $e/2m$ ؛ وأعطت التجارب الدقيقة والمضبوطة الذي قام بها هاس سنة 1915 قيمة مضاعفة e/m .

2 - وبالمقابل ان نحن دورنا فجأة اسطوانة صغيرة من الحديد فإننا نعطي لجميع الكتروناتها عزماً حركياً وبالتالي عزماً مغناطيسياً .

ان يارنث هو الذي توقع ظاهرة المغنطة بفعل الدوران وقاسها سنة 1915 ، وهذه الظاهرة هي التي أعطت لنسبة المغنطة الدورانية نفس القيمة التي يعطيها المفعول المعاكس .

ان هذه التجارب ، لو لم تقلل أهميتها ودقتها ، كان يمكن ان تكشف الدوامة قبل عشر سنين من حصولها . وبعد ان فهمت هذه التجارب تماماً أثبتت ان المغنطة الحديدية هي بصورة أساسية أثر من اثار الدوامة ؛ والعزوم المغناطيسية هي من اثار الدوامة اما الحقل الجزيئي فيشكل تنزواجا بين الدوامات المتجاورة ، تنزواجا يعطيها في مجال ويس اتجاهات متوازية .

ولكن كل هذا لم يكن ليتضح تماماً الا بعد سنة 1925 اي بعد تطور الميكانيك الكانتني الجديد .

تطور النظرية الكانتنية حول المغناطيسية - في هذه الاثناء كان بوهر Bohr قد لاحظ منذ سنة 1920 ان المتساوية المغناطيسية والحديدية المغناطيسية هما وقف على « عناصر الانتقال » وهي مجموعات كيميائية حيث تنمو وتزيد بصورة تدرجية طبقة الكترونية داخلية ما تزال غير كاملة . وهكذا يمكن ان نبرر ، على الاقل في بعض الحالات ، فرضية الدوران الحر .

في سنة 1923 كان سومرفيلد Sommerfeld قد بين انه بالامكان ، بعد معرفة مضاعليها (المسماة مضاعلي زيمان) حساب « عدد المغنيطونات » المحمولة بالذرات المتوازية المغناطيسية ، بصورة مسبقة وبواسطة المطيافية . وتم الحساب سنة 1925 ، بالنسبة الى ايونات « التربة النادرة » ، على يد هوند Hund ، بالاستعانة بالدوامة وتنزواجها مع المدار . ان هذا الحساب ، المستكمل في الميكانيك التاموجي ، على يد فان فلك (1932) Van Vleck ، قد أوضح بشكل رائع احداثاً مرصودة خاصة من قبل كابريرا (1929) Cabrera . ولم تعد القضية قضية سلم بسيط مؤلف من الاعداد الصحيحة ، بل قضية تعابير رياضية أكثر تعقيداً .

اما الايونات من عائلة الحديد ، فالطبقة الالكترونية غير المكتملة فيها هي أقل عمقاً مما في التراتب النادرة ، ولم يعد هناك وجود للدوران الحر ، والمدارات فيها شبه مجمدة تقريباً . ان نظرياتها لم تتوضح الا ببطء .

ويمكن الميكانيك التمرجي أيضاً من فهم المكونة المركزية في تجربة سترن وجيرلاخ . وتتطابق مع ما يسمى بالمدارات ذات الكانتوم السمتي (حالة أساسية في الهيدروجين ، والذرات القلوية أو القضية) وظائف موجيات « أو مدارية » دونما عزم حركي ، ولا عزم مغناطيسي . ولا يوجد الا عزم الدوامية وهذا العزم هو الذي أثبتته التجربة ، مع اتجاهيه .

في سنة 1927 ، قام ب ديبي P. Debye من جهة ، ول . بريلوين L. Brillouin من جهة أخرى بحساب القانون الكانتي العام الذي يحكم المغناطيسية المتساوية وينا ، انه في الحقول الضعيفة تبقى صيغة لانجفين Langevin تقريباً جيداً ويسمح بحساب العزوم الأولية بشكل صحيح .

تأويل المغناطيسية الحديدية من قبل هيسنبرغ - ان الميكانيك الكانتي هو الذي كشف أيضاً الطبيعة الحقلة للحقل الجزئي الذي قال به ويس Weiss ، وذلك عندما أدخل هذا المفهوم في اطار اعم . في سنة 1926 ، ناقش هيسنبرغ « معادلة الموجة » في ذرة الهليوم (ذات الالكترونين) . واطهر الحل المقارب لهذه المعادلة - التي يجب ان تحسب حساباً للدوامية ، ولمبدأ بولي Pauli ، ولعدم إمكانية تمييز الالكترونات - في الطاقة الكهربائية تعبيراً غير متوقع هو « الطاقة البديلة » المرتبطة بواقعة أنه يمكن لالكترونين أن يتبادلا الاماكن والأدوار في بناء ذري دون ان نتبع ذلك نحن - حتى ولو كانا مفصولين « بحاجز طاقي كامن » غير قابل للاختراق بحسب النظرية الكلاسيكية .

وبعد سنة أتاح حساب مماثل ، (مع نفس « التعبير التبادلي ») ، لهيتلر Heitler ولندن London ان يبنيا النظرية الكانتيية في الاتصال الكيميائي . في ذرة الهليوم ، كما في جزئي الهيدروجين وفي غالبية الجزيئات ذات العدد المزدوج من الالكترونات ، يعمل التزاوج الكانتي بين هذه الالكترونات على ان تعارض الدوامات فيما بينها ، اثنتين ضد اثنتين ، في حالتها الأساسية كطاقة دنيا . ولهذه الغاية تبدو هذه البناءات الجزيئية عكسية المغناطيسية .

في سنة 1928 ، اشمل هيسنبرغ Heisenberg هذه النظرية الشبكات البلورية الحديد مغناطيسية ، وهي مسألة صعبة اقتضت فرضيات عشوائية نوعاً ما وتقريبات . ولكنه بين مع ذلك ان الحقل الجزئي يعود في أصله إلى الطاقات التبادلية الالكترونية بين الذرات المتجاورة . وانه ، في هذه الحالة ، ونتيجة عدد المتجاورات ومسافاتهما ، يتوجب ان تتطابق حالة استقرار الطاقة الدنيا مع توازي قسم على الاقل من الدوامات ، أي مع مغنطة مفاجئة .

ووفقاً للتأويل الكانتي للحقل الجزئي ، من قبل هيسنبرغ (Heisenberg) ، أي التأويل المعاصر لاعمال فان فلك Van Vleck حول المغناطيسية المتساوية ، كانت نظرية المغناطيسية تقوم على أساسات متينة أتاح حدوث تطور جديد في الثلاثين سنة اللاحقة . وكان هذا التطور سريعاً ، في اتجاهين مختلفين تماماً ، الأمر الذي يضطرنا إلى اعطاء عرض مواز لمختلف فروع المغناطيسية .

موجات الدوامات - بعد تحديد طبيعة التفاعلات بين حاملات العزوم المغناطيسية بين هيسنبرغ ان هذه التفاعلات ذات مدى عمل قصير بحيث ان ذرة معينة لا تكون في حالة تفاعل الا

مع بعض جاراتها . هذه الملاحظة المهمة بشكل خاص فتحت الطريق امام كل الاكتشافات اللاحقة تقريباً وذلك حين أدخلت مفهوم « الحقل الجزيئي المحلي » الذي يمكن تعريفه بأنه الحقل الجزيئي الوهمي المؤثر في عزم مغناطيسي . هذا الحقل يترجم التفاعلات بين هذا العزم وبين عزوم الذرات المجاورة . وأناحت هذه الملاحظة امام فليكس بلوخ Bloch بأن يقوم باكتشافين أساسيين من أجل تفسير الظواهر المغناطيسية . وكان أول اكتشاف قد حصل سنة 1934 ويتعلق بالمغطة في درجات الحرارة المتدنية جداً .

لننظر إلى حديد ممغنط عند درجة الصفر المطلقة . في هذه الحالة تكون العزوم المغناطيسية في كل ذراته متوازية . نرفع درجة الحرارة ، تثير الحرارة اضطراب هذا الترتيب ، فنظهر تأرجحات . وعندما يُغير أحد العزوم فجأة اتجاهه الوسطي ، يؤثر هذا التأرجح على الجارات ثم ينتقل شيئاً فشيئاً إلى ذرات متباعدة ، بفضل عملية انتشار شبيهة بالانتشار الحاصل في الجوامد من جراء هذه التموجات المطاطية التي تصلح لوصف الاضطراب الحراري الذي يحدث في الجامد . وهذا ما يسمى « بموجة الدوامة » ، وهي مفهوم أساسي بفضلها أمكن تفسير سلوك المواد المغناطيسية في درجة حرارة منخفضة . وكما أن تكميم موجات الاضطراب الحراري قد وأد مفهوم الفوتون ، أدت موجات الدوامات إلى ادخال شبه جزئيات جديدة هي الماغنون ، المتميزة بطاقةها وباندفاعها . وقد ثبتت الحقيقة الفيزيائية لمفهوم الماغنون تجريبياً إذا أمكن من عهد قريب وصد الصدمة غير المطاطية بين الماغنون والنيوترون .

الجوانب عند بلوخ . المغنطة التقنية - والاكتشاف الثاني الذي حققه فليكس بلوخ سنة 1932 ، هو سابق اكتشاف موجات الدوامات ، ويتعلق بمجالات ويس ، كما انه أتاح تفسير استقرارية هذه الموجات . وقد أدخلت هذه المجالات بشكل عشوائي تقريباً من أجل التوفيق بين وجود المغنطة المفاجئة وبين انعدام المغنطة الشاملة في حقل عدم . بين ف . بلوخ - وهو يحاول درس كيفية تواجد مجالين متجاورين - أن منطقة مضطربة تفصل بينهما ، وفي هذه المنطقة ترسم العزوم لولياً يوصل بين المنطقتين . هذه المنطقة تسمى حاجز بلوخ ، وسماكتها تبلغ حوالي مئة من المسافات بين الذرات ، وبها تتعلق طاقة تتعلق أيضاً بطاقة التبادل وتباين الخاصية المغناطيسية . وسوف تكون مذكورة ف . بلوخ ، النظرية ظاهرياً ، مصدراً لعدد كبير من التطبيقات العملية : انها في الواقع مفتاح المغنطة التقنية .

وحتى تلك الحقبة في الواقع ، وبشكل مثير للاستغراب لم تكن الظواهر المغناطيسية الأكثر شيوعاً ، الظواهر التي وصفت في الكتب الأولية أمثال التخلفية المغناطيسية أو وجود مغناطيسات دائمة ، قد فسرت في نظرية مغناطيسية يمكن أن تعتبر دقيقة لحد ما . وبالفعل إنه بفضل تنقل هذه الحواجز والأغشية البلوخية ، والتي تثبت في مواقع وأوضاع تكون فيها الطاقة في أدنى مستواها ، يمكن تحليل مغنطة حديد ممغنط في الحقول المغناطيسية الاعتيادية . وتم السير بهذا التحليل بعيداً على يد ريشار بيكر Becker بين سنة 1930 و 1940 وأبرز كتاب وضعه ر . بيكر ودورنغ Doring باسم الحديد الممغنط ، سنة 1939 معارفنا في هذا المجال عشية الحرب العالمية الثانية . وما يزال الكتاب مرجعاً بهذا الشأن رغم أن الأعمال الأكثر جدة التي قام بها لويس نيل

Néel وشارل كيتيل Kittel بشكل خاص قد غيرت تماماً حول بعض النقاط أفكار بيكر . ويمكن ان نقول بالوقت الحاضر في مجال المغنطة التقنية ان مجمل مجموع الظواهر قد قُشرت كما أنه يصعب بصورة عامة في كل حالة ان نصف بالتفصيل منحنيات المغنطة وتأثير مختلف المعايير التابعة التي يمكن ان تغير في هذه المنحنيات (مثل التوتر الميكانيكي ومثل قلة النقاوة) : وتأتى هذه الصعوبة من تعقيد الظواهر التي تجربنا إلى استعمال نماذج مبسطة ، أكثر مما تتأتى من جهلنا للأولية الميكروسكوبية . هذا الفهم الأفضل للمغنطة التقنية أتاح تحسيناً ضخماً في انجازات المعدات المغناطيسية المستعملة في الصناعة سواء كانت مواد ذات نفاذية عالية أو مواد ذات حقل ضاغط بشدة وذات مغنطة عالية تمكن من صنع مغناط دائمة . وفي هذا المجال الأخير تحقق تقدم كبير باستخدام المسحوق المؤلف من حبيبات ناعمة جداً بحيث يشكل كل منها حقلاً وحيداً . والحبيبات المتباعدة الخواص بشدة والتي درست من قبل شارل غيبوه Guillaud هي ذات حقل ضاغط ضخم اذ يتوجب التغلب على التباين في خواصها حتى يمكن قلب المغنطة نظراً لان تغير مكان الحواجز لم يعد ممكناً . نذكر هذه الحالة على سبيل المثال لتبين التحسين في التقنية بفضل تقدم العلم المحض .

نقيض المغناطيسية الحديدية - أدت نظرية هيسنبرغ إلى الحقل الجزيئي المحلي ، وهو مفهوم مثير بشكل خاص أوصل إلى اكتشاف أنواع مغناطيسية جديدة . في نظرية المغناطيسية الحديدية التي وضعها ويس ، كان هذا الحقل الجزيئي إيجابياً ، أي موازياً لحصيلة العزم المغناطيسية في الذرات المجاورة ، وهذا كان أمراً طبيعياً طالما كان هناك تفكير بالتفاعلات المغناطيسية . ولان هذه التفاعلات متأتية من طاقة التبادل فلا يوجد سبب لكي تكون إيجابية .

وقد قام ل . نيل سنة 1932 بدرس حالة الحقل الجزيئي السليبي ، بصورة مسبقة ثم تبعه بصورة مستقلة ل . د . لاندو Landau سنة 1933 ، وهذا أدى إلى نظرية المغناطيسية الحديدية المناقضة .

إن المغناطيسية الحديدية المناقضة هي ، كما المغناطيسية الحديدية ، ذات درجة حرارة مميزة تحتها تظهر حالة منتظمة من العزم المغناطيسية . في الحديد الممغنط تكون كل العزم متوازية وفي نقيض الحديد الممغنط ، يكون الأمر بالعكس فيتنظم نصف العزم باتجاه ويتنظم النصف الآخر باتجاه معاكس بحيث تنعدم حصيلة المغنطة . إلا ان درجة الحرارة المميزة موسومة بخروقات للسمات الفيزيائية ، شبيهة بالخروقات التي تتواجد في جوار نقطة كوري : خروقات الحرارة النوعية والتمدد ، وذروة التأثرية .

رغم ان نظرية نيل تفسر كل خصائص نقيض الحديد الممغنط فلا يمكن اعتبارها الا كنموذج مرضٍ . ولكن قدم برهان مباشر على ترتيب العزم المغناطيسية عن طريق انحراف النيوترونات الحرارية .

هذه الجزيئات بعزم مغناطيسي والتي عليها قد تؤثر العزم الذرية المغناطيسية ، المزودة بطول موجة من ذات العيار في الضخامة (واحد \AA) انشترتوم) تقريباً) ، كالمسافات بين

الذرات ، هذه الجزئيات تستعمل من أجل تحديد البنيات المغناطيسية كما تستعمل أشعة اكس من أجل تحديد البنيات الذرية . وجرت أول تجربة من أجل تفريق النيوترونات وطبقت على مضاد الحديد الممغنط سنة 1951 من قبل شول Shull والآن Wallan في اوكريدج ، حول أوكسيد المغنايز MnO . واعتبر ظهور خطوط فوق بنوية متوقعة ، البرهان الناصع على صحة نظرية نيل . واعتبر هذا أيضاً الدليل على الأهمية التي يمكن أن ترتديها التقنية الجديدة في دراسة المغناطيسية .

المغناطيسية الحديدية - ان مفهوم الحقل الجزئي السليبي سوف يتيح التفسير الكمي لخصائص فئة جديدة من المواد المغناطيسية هي فئة الحديد الممغنط . ويأتي اسم هذه الفئة من الحديديات ، ومن الأوكسيدات المختلطة ذات الرمز Fe_2O_3, MO (وفيها تمثل M معدناً ثنائياً القدرة) وذات الخصائص التي شرحها نيل .

ان الحديد الممغنط هو كتنقيضه مادة تنجبه فيها العزوم المغناطيسية باتجاهين متعاكسين . وعندها ، أي في نقيض المغناطيسية الحديدية ، في حين تكون هذه العزوم متساوية ، وبذات العدد بحيث تكون المغنطة الشاملة ملغاة ، يختلف الأمر في حالة الحديد الممغنط الذي يمكن أن يقدم مغنطة مفاجئة عندما تهبط درجة الحرارة أدنى من حد معين .

ان فكرة التزاوج السليبي الذي يخلق مغنطة دائمة ، وجدت سابقاً في أطروحة غييهو Guillaud السابقة على عمل ل . نيل ، ولكن هذا الأخير عرف كيف يضع نظرية كمية توضح سلوك الحديد المغناطيسي ، أخذاً بعين الاعتبار ، وبأن واحد من الحديد الممغنط ومن نقيضه .

هذا الفهم الأفضل للظواهرات تسبب بتقدم كبير في تقنية الحديديات ، وعلى العموم في المعدات المغناطيسية العازلة المستعملة مثلاً في مجال التواتر الاشعاعي . ولكن هذا المظهر العملي يجب ألا يخفي الأهمية النظرية الأساسية لهذه الدراسات التي ارتبط بها اسم سنويك Snoek وغورنر Gorter بصورة خاصة .

في مجال المغناطيسية الحديدية ، وخاصة في مجال دراسة الحديديات (ferrites) أدى تشتت النيوترونات الخدمات الكبرى ، حين أتاح التثبت من صحة البنيات المقترحة . ولكن ، منذ سنوات ، لم يعد التثبت يكفي بهذا الدور الرقابي : اذ بفضل هذه الطريقة ، تم اكتشاف بنيات مغناطيسية جديدة ، أكثر فأكثر تعقيداً . وتشكل دراسة هذه البنيات ، واستقرارها النسبي أحد الفروع الأكثر جدة في مجال المغناطيسية ، التي ما تزال في أوج تطورها ، وغليها تتركز كل التقنيات الحديثة في المغناطيسية ، انحراف النيوترونات ، الرجح المغناطيسي ، مفعول موسبور Mossbauer ، الحقول ذات الزخم ؛ لان القياسات الكلاسيكية حول القابلية أو التمدنط المفاجيء تعتبر غير كافية لوحدها لتحل بدون إشكال المسائل المعقدة المطروحة .

الاسترخاء المتوازي المغناطيسية - ان أحد أحدث الفصول في المغناطيسية المتطورة فقط في العقود الأخيرة ، هو استعمال تقنيات التواتر الاشعاعي في دراسة المغناطيسية . ان أول

تجربة في هذا المجال تعود إلى سنة 1913 ، مع اكتشاف ف . ك . اركادييف V. K. Arkadiev للامتصاص الانتقائي للموجات الكهربائية المشوشة ذات التواتر المحدد في الاجسام الحديدية المغناطيسية . ان هذه التجربة كانت بدون غد ، ولكنها أتاحت لدورفمان (Dorfman 1923) ، ثم لاندو Landau وليفشيتز Lifshitz (1935) ان يحدّدوا بالنظرية شروط التردد أو الرجوع للعزم المغناطيسية ضمن حديد ممغنط . ولم تتحقق تجارب الرجوع بالذات الا بعد ثلاثين سنة ، عندما حدث تقدم في تقنية التواتر الاشعاعي . ولكنها سبقت باكتشاف الاسترخاء اللامغناطيسي من قبل ش . ج . غورتر C. J. Gorter سنة 1936 الذي قام بشرح تجاربه كل من هـ . ب . وج كازيمير Casimir وف . ك . دورري du Pré سنة 1938 .

لنأخذ جملة من العزم المغناطيسية . انها في حالة توازن حراري حركي فيما بينها ومع الذرات الأخرى . وان نحن عدلنا شروط هذا التوازن ، فإن نظامنا سوف يتطور نحو حالة جديدة من التوازن ، مع بعض التأخير . الواقع ان هناك تدخلاً من ثابتين زمنيّين ، الأولى تتعلق بوقف استقرار التوازن الحراري الحركي داخل نظام الدوامات (زمن الاسترخاء بين دوامة ودوامة) ، والثانية ، زمن استقرار التوازن الحراري الحركي بين نظام الدوامات وذبذبات الشبكة (زمن الاسترخاء بين الدوامة والشبكة) . والثانية هي أكبر بكثير من الأولى ، فمن الممكن الكلام عن درجة « حرارة في الدوامة » قد تكون مختلفة عن درجة حرارة الشبكة . وينتج عن هذا التأخير في استقرار التوازن اظهر - في القياسات الجارية ضمن التواتر العالي - مكوّنة المغنطة التريبية مع الحقل . ومن قياس القابلية المعقدة (التي تترجم شكلياً وجود مكوّنة تريبية) ، يمكن ، ضمن بعض الفرضيات (خاصة في حالة وجود درجة حرارة للدوامة) تحديد أزمنة الاسترخاء ، ثم بالتالي تعميق عملية التزاوج بين العزم المغناطيسية والشبكة (غورتر Gorter ، فان فلك Van Vleck) .

الترديد أو الرجوع الكهربائي - في سنة 1944 اكتشف زافويسكي Zavoiski في كازان الرجوع المغناطيسي المتوازي الالكتروني .

وجاء هذا الاكتشاف متأخراً ، بعد عدد من التجارب غير المثمرة ، يرد فشلها إلى المبالغة في الحرص والحذر ، اما من أجل زيادة الإشارة ، باستعمال جوامد تحتوي على كثير من المراكز المغناطيسية السكونية ، الأمر الذي عرّض خط الرجوع كثيراً للدرجة أصبح معها غير قابل للرصد والمراقبة ، واما بالعمل على بلورات خاصة جداً فيها تطور أزمنة الاسترخاء ، مما حطم إشارة الرجوع . الواقع ان الرجوع الالكتروني قد استفاد من المعلومات حول الرجوع النووي المكتسب بعد عدة أشهر ؛ وأصبح الرجوع الالكتروني ، وبخاصة بفضل أعمال المجموعات السوفياتية (التشولر Altschuler وزافويسكي ، الخ) والبريطانية (بليني Bleany ، وبريس Pryce) ، الوسيلة لدراسة دقيقة جداً للمغناطيسية السكونية . وبصورة خاصة أتاحت دقة الطريقة دراسة جوامد تحتوي على عدد صغير جداً من حاملات العزم المغناطيسية ، مثل أجسام تحتوي على جذور حرة أو على عيوب محدثة بفعل التشعيع . وهنا يوجد سبيل جديد لم تستطع المغناطيسية الكلاسيكية ان تسلكه لفقرها إلى الحساسية . وهناك مجلوب آخر قلّمه الرجوع المغناطيسي السكوني وهو اكتشاف بنروز Penrose وبليني Bleany تجريبياً (1949) للبنية المتناهية الدقة أي تأثير التزاوج بين العزم

المغناطيسي الالكتروني والعزم المغناطيسي النووي ، وهو تزواج قدم تفسيره النظري ابراهيم Abragam وبراييس سنة 1951 .

وحوالي سنة 1946 اكتشف غريفيث Griffiths الرجوع المغناطيسي الحديدي الذي سبق إليه من قبل ثلاثين سنة اركادييف . وتفسيره ، الصعب من جراء وجود حقل نازع للمغناطيسية يتعلق بشكل العينة المستعملة ، قد قدم بعد ذلك بقليل من قبل ش . كيتل .

المغناطيسية النووية - ومثل ذلك بخلال الثلاثين سنة الأخيرة ، تطور المغناطيسية النووية . فقد ولدت هذه المغناطيسية من المطايفة الإبصارية ، ومن الدقة المتناهية في القياسات المطايفة التي أتاحت اكتشاف الطاقة الضئيلة جداً المتفاعلة مع العزوم المغناطيسية الالكترونية والعزوم المغناطيسية في النوى . ولدت القياسات التداخلية ان الكثير من الخطوط الطيفية هي ذات بنية متناهية الدقة ، وكل خط متكون من عدة مركبات الفاصل بينها ضئيل جداً . منذ 1924 عزاء . بولي هذه البنية إلى عزم مغناطيسي نووي ، باعتبار ان طاقة الذرة تتعلق بالتوجه المتبادل بين هذا العزم النووي والعزم الذري . وهذه الفكرة اتخذت كأساس في مذكرة نظرية أساسية وضعها فرمي Fermi سنة 1930 وفيها حسب التفاعل المغناطيسي بين الالكترتون والنواة . ولكي يتم الانسجام مع النتائج التجريبية كان لا بد من افتراض العزم المغناطيسي النووي صغيراً جداً ، الأمر الذي أدهش كثيراً علماء الفيزياء في تلك الحقبة .

وكما كتب فرمي بنفسه حول هذا الموضوع في تقريره أمام مؤتمر سولفي الذي انعقد سنة 1930 وفيه يقول : « إذا طبقنا على النواة الافكار العادية المطبقة على تركيب الاسهم المغناطيسية ، نصل إلى الاعتقاد ، على الأقل ان عزمها المغناطيسي يجب ان يكون بضخامة مغنطون بوهر . ولكن هذه النبوءة قد كذبتها التجربة تماماً . . . ونستنتج من ذلك ان العزم المغناطيسي في النواة يجب أن يكون من مستوى جزء من الف جزء من مغنطون بوهر » .

ان مثل هذا الاستنتاج صعب على الفهم ان افترضنا كما هو حاصل في تلك الحقبة ، ان النواة تحتوي على بروتونات ، وعلى الكترونات . ولكنه يصبح أكيداً ، كما فعل هيسنبرغ سنة 1934 ، اذا اعتبرنا النواة مكونة من بروتونات (أوليات) ومن نيوترونات (أوترونات) . فالبروتون ينسجم مع معادلات ديراك ، وعزمه المغناطيسي الخاص - الذي يُعتبر وجوده نتيجة لهذه المعادلات - يجب أن يكون تقريباً أصغر بألفي مرة من العزم المغناطيسي في الالكترون .

واطلق اسم « مغنطون نووي » على القيمة النظرية التي تعطيها صيغة مماثلة تقريباً لصيغة « مغنطون بوهر » باعتبار كتلة البروتون محل فيها كتلة الالكترون .

ومن المدهش ان هذا البرهان لم يطور من أجل القبول بينة النواة التي اقترحها هيسنبرغ . ولكن تفسير القياسات البصرية لا يمكن أن يعطي قيمة دقيقة عن العزوم المغناطيسية النووية . وقدم رابي Rabi ومعاونوه ابتداءً من سنة 1934 هذه التحديدات الدقيقة بفضل طرق النافورات الذرية التي كان منطلقها تجربة سترن وجيرلاخ . وبفضل التحسينات المتتالية توصل ج . ج . رابي إلى تجربة الرجوع المغناطيسي للنوافير الذرية سنة 1939 .

هذه التجربة التي نال عليها صاحبها جائزة نوبل هي من أجمل التجارب ، بسبب المصاعب التي يتوجب التغلب عليها ، وهي مصاعب من الأكثر أهمية أيضاً ، لأن التجربة ارتكزت على مبدأ الرجوع النووي بالذات . فالعزم المغناطيسي يُقاس فعلاً بواسطة تواتر لارمور Larmor في حقل متناسق ، ولم يستخدم جهاز الانحراف الذي وضعه سترن وجيرالاح الا لالتقاط الرجوع الذي يحدث عندما يتساوى تواتر حقل التواترات المشعة الذي يحيط بالنوى بهذا التواتر المسمى تواتر لارمور .

وأُتاحت هذه الطريقة الدقيقة جداً لوابي وللمعاونيه ان يقيسوا عدداً كبيراً من العزوم المغناطيسية النووية ، التي لم تكن - حتى بالنسبة إلى البروتون - مضاعفات صحيحة لمغنتون نووي . وبصورة خاصة ، وبعد الاستعانة بطريقة رابي استطاع الفاريز Alvarez وبلوخ ان يقيسا منذ 1940 العزم المغناطيسي في النيوترون ، والذي يساوي $1.91290 \pm 9 \cdot 10^{-5}$ مغنتون نووي . وهذه النتيجة الأخيرة تعتبر مهمة بشكل خاص لأنها تتعارض مع التصور الساذج للمجزيئات النووية والذي يرى ان العزم المغناطيسي يقترن بوجود شحنة كهربائية .

ولجعل طريقة الرجوع اسهل استعمالاً ، لم يكن من المتوجب الا استبدال أسلوب الكشف أو الالتقاط الصعب جداً والذي وضعه رابي ، بأسلوب للكشف مباشر . وهذا ما حدث بعد عدة سنوات . في سنة 1946 أثبت كل من فليكس بلوخ في جامعة ستانفورد في كاليفورنيا وآ . م . بورسل Purcell ور . ف . بوند Pound في جامعة هارفرد ، الرجوع المغناطيسي للنوى عن طريق الرصد المباشر للقوة الكهربائية المحركة الصادرة عن حركة العزوم المغناطيسية في النوى .

ومنذ ظهور أول مذكرة له عرف فليكس بلوخ كيف يدخل ، في معادلات ظاهراتية ، الكميات المهمة من أجل تفسير الرجوع النووي : أزمنة الاسترخاء ، دوامة مع دوامة ودوامة مع شبكة والتي تكلمنا عنها في موضوع الرجوع المتوازي المغناطيسي الالكتروني . ولكن الآن أصبحت الدوامات نووية ؛ ونلاحظ ذلك في مادة متعاكسة المغناطيسية ؛ ويتج عن ذلك أزمنة استرخاء تختلف مقاديرها تماماً عن مقادير الرجوع المغناطيسي الالكتروني الساكن . وكذلك حال تواترات الرجوع ، في الحقول المعتادة ، هي ألف مرة أصغر بسبب صغر العزوم المغناطيسية النووية ، ويتج عن ذلك تبسيط ضخم في التجهيزات التي تستخدم التواتر الاشعاعي العادي (بعض عشرات الميغاسيكل) .

هذا الرجوع النووي وبخاصة رجح الفوتون ، سرعان ما استعمل من أجل قياس التفاعلات المتبادلة بين العزوم المغناطيسية النووية في جزيء اذني مغناطيسية ساكنة . ويتج عن ذلك تطبيق فيزيكيميائي مباشر أدى إلى اعتماد طريقة الرجوع في مختبرات الكيمياء ، وعلى عدد كبير من الأعداد الضخمة ، إذ توجد الآن أكثر من ألفي نشرة مخصصة لهذه الأعمال .

ولم يقتصر درس الخصائص المغناطيسية في النوى على الفيزياء النووية بل أيضاً شمل الفيزياء الكلاسيكية وكشف لنا أضواء جديدة عن هذه الخصائص .

وبالفعل لا يستطيع العزم المغناطيسي المرتبط بدوامة نواة ان يتخذ بالنسبة إلى حقل

مغناطيسي الا عدداً صغيراً من الاتجاهات أو الحالات الطاقوية المتميزة . ومن جراء هذا الواقع يشكل نظام بسيط جداً ، ومجموعة العزم المتفاعلة في جسم ما ، أحد هذه المجملات التي يعتبرها علم الحرارة المتحركة الاحصائية ، مجملاً مقتصرأ على الأساسي والذي يتزوج بضعف شديد مع الوسط المحيط به من خلال لحظة استرخاء طويلة جداً . ويمكن بسهولة تحديد ورصد درجة حرارة دوامة تختلف عن درجة حرارة الشبكة وأكثر من ذلك نستطيع بفعل حقل تواتري اشعاعي تزويد مستويات الطاقة العليا بصورة أفضل ، خلافاً لقانون بولتزمان ، أو بصورة أولى وفقاً لقانون بولتزمان مع درجة حرارة مطلقة سلبية . ومن بين الاعمال حول هذا الموضوع يجب أن نذكر بشكل خاص أعمال آ . ابراهيم الذي توصل ، مع غيره ، إلى اعداد وتحضير عينات عن أجسام مشبعة بالهيدروجين بشكل مكثف أي تتكون فيها كمية مهمة من البروتونات ذات الدوامات المتوازية .

وكما هو الحال في الماضي كشف لنا حقل المغناطيس وجود حقل قوة ما يزال مجهولاً حتى وقتنا الحاضر . ان دراسة الخصائص المغناطيسية للمادة ، وان بدت متخصصة ظاهرياً ، تفتح لنا في كل الاتجاهات آفاقاً جديدة في علم الابصار وفي الكيمياء وفي الحرارة المتحركة وفي الفيزياء النووية . نذكر من وجهة النظر هذه ان العزم المغناطيسي غير العادي في البروتون وبصورة خاصة عزم النيوترون كانا من الناحية التاريخية من المؤشرات الأولى الدالة على بنية معقدة في النويات (النكليونات) .

الكهرباء ، الالكترونك والكهرباء الاشعاعية

في سنة 1900 تم اكتشاف الالكترون ، ضمن الضمة الكاثودية داخل انبوب فارغ . وكان الكثيرون يشككون يومئذ بوجوده . سمة واحدة من سماته كانت تقريباً معروفة ، هي e/m أي النسبة بين شحنته وكتلته . وبعد خمسين سنة ولد علم جديد هو علم الالكترونات ، كما نشأت طبقة من المهندسين الجدد هم مهندسو الالكترونات .

في سنة 1900 بدأ علماء أمثال درود Drude وج . ج . تومسون Thomson - على آثار لمورنتز Lorentz - ، يتخيلون أن التيار الكهربائي في المعادن هو محمول بالكترونات سلبية حرة . وكانت بدايات النظرية الالكترونية للمعادن . واليوم ويفضل الميكانيك الكانتي ، زالت الصعوبات الرئيسية التي اصطدم بها هؤلاء الرواد . واتسعت النظرية فشملت الموصلات النصفية وحتى الاجسام العازلة . ويجري البحث بطمأنينة حول حركة الالكترونات ، « أو ثقبوب الايجابية » ويتم التنبؤ بسلوكلها ثم تصنع المقومات ، و« الترانزستور » والعديد من التطبيقات العملية . سنة 1901 اجتازت الإشارات الكهربائية الاشعاعية المحيط الأطلسي . ويخلل عدة عقود أصبحت الكهرباء الاشعاعية بفضل الالكترونك ، إحدى الصناعات الأكثر أهمية في العالم كما أصبحت بذات الوقت وسيلة جديدة لاكتشاف الكون .

بخلال هذه الحقبة الخصبة بقيت أسس الكهرباء المغناطيسية ، والنظرية الكلاسيكية الذي وصفها مكسويل Maxwell ولورنتز راسخة ، قلما زعزعتها نظرية الكنتا ، على الأقل من وجهة النظر التجسيمية (ماكرو سكوبيك) ولكن معرفتنا بالمادة ، وبالجزئيات الكهربائية التي تشكل هذه المادة قد تعمقت وتوضحت بشكل يمكن تصوره ، في مطلع القرن العشرين ، وبذات الوقت تطورت تقنياتنا بشجاعة بالتصور بقوة في الوسائل التي قد تبدو أسطورية في ذلك الزمن .

I - اكتشاف الالكترون

عندما أطلق ج . جونستون ستوني Johnstone Stoney سنة 1891 كلمة الكترون على الوحدة الطبيعية للشحنة الكهربائية ، هذه الشحنة التي يحملها ايون وحيد الصلاحية ، في التحليل

الكهربائي (الكتروليز) ، لم يكن أحد يتوقع بدقة وجود جزئية ذات كتلة أضعف بكثير من كتلة الايونات التي نطلق عليها اليوم اسم الكترون . هذا مع أن هلمولتز Helmholtz كان قد استنتج ، قبل ذلك بعشر سنوات « إن الكهرباء الايجابية والسلبية تقسم إلى جزئيات أولية محددة تتصرف كتصرف الذرات الكهربائية » . وبعد التجارب التي أجراها بنجمن فرنكلين Franklin سنة 1747 ، كتب يقول « إن المادّة الكهربائية تتألف من جزئيات دقيقة للغاية ، لأنها تستطيع اختراق المادة المعروفة بل أيضاً المعادن الأكثر كثافة » . وسوف يثبت رأي هؤلاء الطليعين في العقد الأخير من القرن التاسع عشر ، خاصة بعد دراسة الأشعة الكاثودية .

تحديد هوية الالكترون كجزئية أولية - قامت مدرستان تقترحان تأويلات مختلفة لطبيعة هذه الأشعة التي يعود اكتشافها إلى منتصف القرن التاسع عشر . ففي حين استنتج هرتز Hertz وتلميذه لينار Lenard « أنه بين الظاهرات المعروفة يبدو الضوء هو الأقرب إلى هذه الأشعة » ، فقد اعطاها ج . ج . تومسون طبيعة جسيمية . وليثبت نظريته تذرّع لينار بمرور الأشعة الكاثودية عبر غشاء رقيق من الألومنيوم . ولكن هذا البرهان ربما يسد له أقل حسماً لو أنه اخذ بملاحظة فرنكلين حول تهاوي دقّة هذه الجزئيات التي تكوّن المادة الكهربائية .

في كانون الأول سنة 1895 ، نشرح . برين Perrin نتائج تجربة كروست فوز النظرية الجسيمية على الأقل لمدة ثلاثين سنة . فقد لاحظ أن اسطوانة فارادي ، وضعت داخل انبوب تفرغني ، فامتلات أو شحنت سلبياً تحت تأثير الأشعة الكاثودية . ودلت تجربته أن هذه الأشعة تتكون من جزئيات مشحونة سلبياً . ورغم أنّ هذه التجربة لم تكن كافية لتوضيح طبيعة هذه الجزئيات ، إلا أنّها شكلت أول برهان مباشر على وجود الالكترون .

في هذه الاثناء تم الحصول على أول تقييم لكتلتها بواسطة طريقة أخرى . فمئذ عدة سنوات كان هـ . آ . لورنتز قد بنى نظرية حول العازلات الكهربائية وحول وجود جزئية مادية ذات شحنة وذات كتلة محددين ، رغم عجزه عن تحديدهما يومئذ ، وعزا إلى هذه الجزئية تشتت وحدوث الضوء من المادة . واتاح اكتشاف ب . زيمان Zeeman سنة 1896 ، لتفكيك الخطوط الطيفية بواسطة حقل مغناطيسي أن يحسب كتلة هذه الجزئية : ومنذ نهاية 1896 وضع نظرية « مفعول زيمان » واستنتج قيماً تجريبية حاصلة نتيجة تباعد الخطوط ، وإن هذه الكتلة تساوي تقريباً كتلة تقلّ مئتي مرة عن كتلة ذرة الهيدروجين . ولم تصبح هوية هذه الجزئية والجزئية التي اكتشفت داخل الأشعة الكاثودية ، ثابتة إلا عندما عرفت كتلة هذه الاخيرة .

في سنة 1897 نشرح . ج . طومسون النتائج الأولى للقياسات التي قام بها من أجل الحصول على كتلة الأشعة الكاثودية . ومنذ 1881 افترض الأشعة الكاثودية تتكون من جسيمات ، فوضع أسس حركيتها ، وجاء بعده فيتزجيرالد Fitzgerald وهيفسايد Heaviside يوضحانها .

إن الأعمال المستقل لحقل كهربائي ولحقول مغناطيسي عرضانيين من أجل تحريف الأشعة الكاثودية عن مدارها المستقيم مكن طومسون من الحصول على معادلتين تتضمنان سرعة الجزئيات v والنسبة e/m بين شحنتها وكتلتها ، وقد جرت محاولات حول العديد من تركيبات الانحرافين

الكهربائي والمغناطيسي، واستبدل الانحراف المغناطيسي، في بعض التجارب، بقياس للطاقة الحركية في الالكترونات التي تسقط من أجل هذا فوق مزدوجة حرارية. وعثر طومسون على سرعة من مستوى العشر من سرعة الضوء وعلى نسبة e/m مستقلة في الغاز الذي فيه يتم التفريغ، وعلى طبيعة الكاثود: وتأيدت هذه النتيجة الأخيرة من قبل هـ. آ. ويلسون سنة 1901.

وكانت القيمة التي عثر عليها سنة 1897 بالنسبة إلى e/m أعلى بـ 770 مرة من الكمية المقابلة من الايونات الهيدروجينية في التحليل الكهربائي. وبافتراض أن الشحنة e كانت شحنة الايونات الوحيدة الصلاحية في التحليل، أي الوحدة الطبيعية المسماة «الكثرون» من قبل ستوني، بفضل هذا توصل طومسون إلى إعطاء الالكترونات كتلة أقل من كتلة الايونات. وبعد توضيح قيمة النسبة e/m في جزئيات الأشعة الكاثودية بفضل قياسات كوفمان Kaufmann (1897-1898) ووين Wien وسيمون Simon وويشرت Wiechert (1899) وطومسون بالذات بدت القيمة المعتمدة بالنسبة إلى كتلة الالكترونات أقل من كتلة ايون الهيدروجين بـ 1836 مرة.

وبين سنة 1897 و 1900 أتاح قياسات النسبة e/m التعرف على هوية الالكترونات في العديد من الظواهر. وبعد أن ارتد لينار Lenard إلى النظرية الجسيمية سنة 1898 قاس هذه النسبة بالنسبة إلى الأشعة الكاثودية التي اخترقت حاجزاً معدنياً رقيقاً (أشعة لينار). وأجرى طومسون نفس القياس فيما يخص الالكترونات الصادرة عن المعادن المتوهجة (المفعول الحراري الايوني)؛ وأجرى طومسون ولينار القياس في الالكترونات الصادرة عن المعادن تحت مفعول الضوء فوق البنفسجي أي المفعول التصويري الكهربائي وأخيراً وبفضل قياس النسبة e/m بين بكريل Becquerel أن أشعة β التي يبثها الراديوم، وهي الأشعة التي كانت تسمى يومئذ أشعة بكريل، تتكون من الكثرات مزودة بسرعة عظيمة.

قياس شحنة الالكترون - من أجل التثبت من الفرضية التي قدمها، قام ج. ج. طومسون بقياس مباشر، سنة 1898 و 899: لشحنة الالكترونات المحلثة في الغازات بفضل اشعة أكس وبالمفعول الكهروضوئي مركزاً على سمة تستعمل اليوم في الفيزياء النووية من أجل استكشاف الجزئيات «في غرفة ويلسون». وفي مختبر كافنديش في كامبريدج (بريطانيا) حيث اشتغل طومسون وك. ت. ر. ر. ويلسون Wilson وج. س. تاونسند Townsend تم اكتشاف أن جزئيات مكهربة تشكل مراكز تكثف بخار الماء إذا اخضع لصعقة مفاجئة عندما تكون النسبة بين الحجم النهائي والحجم الأساسي متراوحة بين حدين معينين. وأتاحت دراسة حركة حبيبات الماء المتكونة على هذا الشكل تحديد الشحنة المحمولة من قبل الجزئيات المكهربة.

يذكر أيضاً أن الشحنة في الالكترونات تتدخل في نظرية اشعاع بلانك Planck ورغم عدم وضوح قياسات الاشعاع في هذه الحقبة، استطاع بلانك أن يستنتج، سنة 1900، قيمة دقيقة بشكل مذهل لشحنة الالكترون. في هذه الاثناء، كانت أفضل طريقة تقوم على رصد حركة حبيبة زيت تحمل عدداً صغيراً من الشحنات الأولية، وتخضع للجاذبية الارضية داخل حقل كهربائي عامودي كما نخضع لقوى لزوجة الهواء الذي تتحرك في داخله وهذه الطريقة، التي أشير

إليها سنة 1907 ، من قبل اهرنهافت Ehrenhaft استعملت سنة 1913 من قبل ر . آ . ميليكان Millikan واستعبدت بشكل محسن سنة 1940 .

وتتم التجربة بين صفحتين معدنيتين أفقيتين تشكلان درعي مكثف . ولحظ فيها بواسطة الميكروميكروب ، حركة حبيبة زيت منورة بقوة ، وكان قطرها يقارب الميكرون . وبغياب أي حقل كهربائي قاومت قوة اللزوجة في الغاز ، المتناسبة مع سرعة الحبيبة ، التسارع المعزول إلى الجاذبية الأرضية ، وفرضت سرعة قصوى . إن معامل النسبة بين قوة اللزوجة وبين السرعة نحصل عليه بمعادلة بسيطة وضعها ستوكس Stokes وهي : $f = 6 \pi \eta a$ وفيها يساوي a شعاع الحبيبة و η معامل لزوجة الغاز .

وعندما يكون η معروفاً يتيح هذا القسم الأول من التجربة تحديد شعاع النقطة وبالتالي كتلتها بعد معرفة الثقل النوعي للزيت . وفيما بعد نطبق الحقل الكهربائي ونلاحظ أن السرعة القصوى للنقطة تتغير دائماً بقفزات : وهذه التغيرات هي مضاعفات كاملة وبسيطة لقيمة محددة تماماً تناسب الحقل الكهربائي . ويفسر هذا الحدث ببساطة إذا افترضنا أن الحبيبة تتكهرب بفعل الاحتكاك بالهواء فتأخذ عدداً صغيراً من الشحنات الأولية . ونستنتج من ذلك عندئذ شحنة الالكترون . إن الامر يتعلق بقياس دقيق جداً ، وبعد نتيجة أولى مشكوك بها اضطر ميليكان أن يعاود قياس معامل لزوجة الهواء .

إن قيمة شحنة الالكترون الحاصلة على هذا الشكل تعتبر كأفضل نتيجة عرفت وتمثل بما يلي : $1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb (أي $10^{-19} \cdot 1,602$ كولومب) وتشكل مقارنتها بشحنة الايون غرام في التحليل أفضل تحديد لعدد أفوغادرو وهو $N = 6,023 \times 10^{23}$ وأخيراً إذا قورنت هذه القيمة بالقيم الحاصلة للنسبة $e/m = 10 \times 1,759$ كولومب / كلغ) ، فإنها تعطي لكتلة الالكترون ما يلي : $m = 9,11 \times 10^{-31}$ Kg (كلغ) ويسبب هذه النتائج التي تتوافق مع تحديدات أخرى تلعب تجربة ميليكان دوراً حاسماً في تاريخ الفيزياء الحديثة .

تأويلات كتلة الالكترون - بالنسبة إلى بعض المنظرين من سنة 1900 لم تفصل القيمتان الأساسيتان اللتان تميزان الالكترون ، وهما كتلته وشحته ، والأعمال التي تمت للربط بينهما تشكل محاولة تفسير لبنية الالكترون ، لا تخلو من فائدة تاريخية رغم قدمها .

في بداية حياته العملية سنة 1881 لاحظ ج . ج . طومسون أن الشحنة الكهربائية تمتلك الجمود ، وذلك بسبب الحقل الكهرومغناطيسي الذي تحدثه ، ونجح في حساب « الكتلة الكهرومغناطيسية » في كرة مشحونة :

فوجد إن هذه الكتلة تتغير بتغير السرعة في حين أن النظرية الكلاسيكية تعتبر الكتلة الميكانيكية ثابتة . وفي سنة 1895 ارتأى لارمور إمكانية « إن كتلة كل مادة ليست إلا الكتلة الكهرومغناطيسية للالكترونات التي تشكل قسماً وربما كل بنية هذه المادة » (و . و . ريشاردسون Richardson ، نظرية الالكترون في المادة ، سنة 1914) . في كتابه « مبادئ الديناميك في

الالكترونات « الصادر سنة 1903 أوضح ماكس ابراهام حسابات ج . ج . طومسون فشبه الالكترون بكرة لا يتغير شكلها . وأدخل مفهوم « العزم الكهرومغناطيسي » المرتبط مباشرة بالسهم الموجه الذي أدخله ج . هـ . بوينت Poynting سنة 1884 لكي يصور انتشار الطاقة الكهرومغناطيسية وأتاح هذا المفهوم تفسير الواقعة القائلة بأن الاشعاع الساقط فوق سطح ما يحدث فيه ضغطاً : وهو مفهوم تنبأ به مكسويل سنة 1873 ، باسم « ضغط الاشعاع » ، وقد قاسه ب . ليديف Lebedev سنة 1901 ثم أ . نيكولس Nichols وج . هول Hull سنة 1903 بدقة من عيار 1 % . ومن عبارة العزم الكهرومغناطيسي استطاع ابراهام أن يستخلص بسهولة قيمة الكتلة الكهرومغناطيسية في الالكترون وأن يبين أنها تزداد مع السرعة لتتناهى عندما تصبح سرعة الالكترون قريبة من سرعة الضوء .

كانت هذه الأعمال مزمنة للأعمال التي أدت إلى نظرية النسبية . وقد توصل لورنتز يومئذ إلى اقتراح الفرضية التي صاغها أيضاً فيتجيرالد حول تقلص أبعاد الجسم الجامد أثناء تحركه . وطبقها على حركة الالكترون واستنتج منها صيغة تتعلق بتغير كتلة الالكترون m تبعاً للسرعة v ، صيغة تختلف عن صيغة ابراهام : إنها الصيغة المعروفة تماماً ، صيغة النسبية الضيقة : $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ وفيها تمثل c سرعة الضوء في الفراغ . منذ سنة 1901 عمل و . كوفمان على قياس النسبة e/m بالنسبة إلى الالكترونات ذات السرعات العظيمة الصادرة عن برومور الراديوم ولاحظ وجود تغير في الكتلة بتغير السرعة الكبير نوعاً ما واستنتج من ذلك أن القسم الاعظم من كتلة الالكترون هو من أصل كهرومغناطيسي . وفي سنة 1906 نشر نتيجة الأعمال المتقنة جداً ليحكم بين صيغة ابراهام وصيغة لورنتز : ومع الأخذ بالأخطاء التجريبية الممكنة ثبتت هذه النتائج نظرية ابراهام . ويعود عنوان مقال كوفمان إلى سنة 1906 ، حول « تكوين الالكترونات » ، وهو يترجم تماماً الهدف المقصود من قبل المؤلف . وعلى أثر تجارب كوفمان ، كتب لورنتز ، في طبعة سنة 1909 من « نظرية حول الالكترونات » أنه يتوجب ربما رفض فرضية التقلص . في هذه الأثناء وفي الطبعة اللاحقة (1915) ذكر لورنتز أن التجارب الجديدة التي قام بها آ . بوشير Bucherer (1910) وك . شافير Schaefer وج . نيومان Neumann (1913) وأخيراً ك . ي . غويه Guye وك . لافنشي Lavanchy قد أكدت صيغته الخاصة ، وإنه بالتالي « ووفقاً لكل احتمال يزول الاعتراض الوحيد ضد فرضية الالكترون القابل للتشويه ومبدأ النسبية » .

إن نظرية النسبية عند لورنتز تعطي للاكترون نفس الكتلة في حالة السكون المعادلة لكتلة ابراهام وصيغتها $m_0 = e^2 / (4 \pi R c^2)$ (من وحدات C.G.S.E.S. ؛ e تساوي شحنة الالكترون ؛ و R تساوي شعاع الالكترون) . إن القيمة التجريبية m_0 تتيج حساب الشعاع R الذي يقرب من : $1.5.10^{-13}$ ، قيمة تصغر بمئة ألف مرة عن شعاع جزيء الهيدروجين المقارب 10^{-8} سم .

نلاحظ السمة الميكانيكية لتصوراتنا هذه للاكترون . وأتاححت الاعتبارات المتعلقة باستقرارية الالكترون القابل لتغير الشكل ، تحت تأثير القوى المغناطيسية ، توضيح الصورة التي تتكون لدينا عنه : وهكذا بين هنري بوانكاريه Poincaré سنة 1906 أن الالكترون يكون في حالة توازن إذا كان مكوناً من غشاء رقيق جداً ومتناهي المرونة وقابل للتمديد ونحاضع لضغط متجه نحو الداخل .

ورفضت النظريات الحديثة وضع تصورات بهذه الدقة عن الالكترون . ولكن يجب أن نذكر أن الالكترون بدأ - في النظريات الموضوعية سنة 1900 من أجل تفسير الخصائص الكهربائية للمادة - بشكل عام كنقطة مادية تتميز بشحنتها وبكتلتها . وعلى هذه الأسس استطاعت نظرية الالكترونات أن توضح أكبر عدد من الظواهر ويدت أداة عمل فعالة .

الالكترونيك ونظرية النسبية - إن المسائل التي طرحتها فيزياء الالكترون والحقل الكهرومغناطيسي قد لعبت دوراً أساسياً في ولادة نظرية النسبية ونلخص بإيجاز ما قدمته هذه النظرية إلى الالكترونات . إن نظرية لورنتز ، التي وضعت منذ سنة 1905 في إطار النسبية الضيقة التي قررهما انشتين قد أتاحت التعرف على تغير كتلة الالكترون تبعاً لسرعته . وتوجب اللجوء إلى الديناميك النسبي من أجل وصف حركة الالكترون في العديد من المعدات : كليسترونات [أنابيب فارغة لتضخيم الذبذبات الالكترونية ذات الموجة السنتيمترية] ذات قوة عالية ، ميكرومكوبات الكترونية ، وبصورة خاصة سرعات تلامس سرعة الضوء .

إن ما قدمته النسبية يبرز أيضاً في العرض الحديث للكهرمغناطيسية ، بإظهار العلاقة بين الحقل الكهربائي والحقل المغناطيسي ، وكذلك مصدر قوة لا بلاس وقانون الحث .

وكون معادلات مكسويل متغيرة بالنسبة إلى التحول الكلاسيكي في الاحداثيات حمل لورنتز إلى إدخال صيغ جديدة لتغير الاحداثيات ، وهي صيغ بررتها نظرية النسبية ، ووفقاً لهذه الصيغ التغيرية إذا كان حقل كهربائي ثابت بصورة خالصة يسود ضمن نظام متحرك بالنسبة إلى راصد ثابت ، فإن هذا الأخير يكتشف أيضاً وجود حقل مغناطيسي بفضل نوع من مفعول البعد ويستنتج منها بسهولة المعادلة $\vec{E} = - \nabla \phi - \frac{1}{c} \frac{d\vec{A}}{dt}$ تعبيراً عن القوة \vec{F} التي تمارس على الكترون بسرعة \vec{v} خاضع لحقل مغناطيسي \vec{B} ولحث مغناطيسي \vec{B} . وبمعكس ذلك ، إن الالكترون المتحرك يحدث حقلاً كهربائياً وحقلاً مغناطيسياً وهذا الأخير ضعيف جداً إلا عندما تقترب سرعة الالكترون من سرعة الضوء ومع ذلك فهو يتيح معرفة الحقل المغناطيسي المحدث بفعل التيارات المارة في الموصلات المعدنية . وتنتج هذه التيارات عن تنقل الالكترونات داخل ايونات جامدة عملياً . ويجمد الحقل الكهربائي الثبوتي المحدث بهذه الايونات حقل الالكترونات ، فلا يبقى إلا الحقل المغناطيسي المنبثق عن حركة الالكترونات : رغم أن سرعة هذه الالكترونات ضعيفة إلا أن عددها الكبير يفسر كيف أن الحقل المغناطيسي المحدث يكون قابلاً للقياس .

وهكذا لا تنطبق نظرية النسبية فقط على السرعات الكبرى : إنها توضح تحت ضوء قوي مجمل الظواهر الكهرمغناطيسية فثبت وحدتها العميقة .

II - النظرية الالكترونية حول المادة في بداية القرن العشرين

في بداية القرن العشرين قدم اكتشاف الالكترون قاعدة صلبة لمحاولة وضع نظرية موحدة للخصائص الكهربائية في المادة ، من مرور التيار المستمر حتى حدوث الموجات الكهرمغناطيسية ذات التواتر الأكثر ارتفاعاً .

انتقال الكهرباء في الغازات - لقد تجمعت نتائج عديدة تجريبية حول مرور الكهرباء في الغازات بخلاف القرن التاسع عشر ، وبصورة خاصة بخلاف العقد الأخير . وكانت هذه النتائج تدور حول الغازات تحت الضغط الجوي كما تحت الضغوطات المنخفضة . وفي سنة 1903 بين ج . ج . تومسون في كتابه « إيصال الكهرباء عبر الغازات » إن الوقائع الملحوظة تفسر إن نحن افترضنا « أن انتقال الكهرباء عبر الغازات يعود إلى وجود جزيئات صغيرة من الكهرباء تسمى ايونات » . ويذكر أن تومسون يرمز بهذا إلى الجزيئات الإيجابية كما إلى الجزيئات المشحونة سلباً ، وإنه لم يستعمل كلمة الالكترونات ، ولم يظهر أمر كون الجزيئات السلبية لها كتلة أضعف بكثير من كتلة الايونات الايجابية وكتلة الذرات ، إلا على أثر القياسات للنسبة e/m والتي ذكرت بتفصيل .

ويتيح كتاب تومسون توضيح المعارف حول الغازات المؤينة حوالي سنة 1900 . وفيه محل كبير مخصص للتفريغ بين قطبين باردين ، ويكون في هذا التفريغ « تأيين يحدثه بصورة رئيسية مفعول الحقل الكهربائي » : وينطلق التفريغ وفقاً لقانون اكتشفه باشن Pashen سنة 1889 ، فيما خص فرقاً في الزخم لا يتعلق ، بالنسبة إلى غاز معين ، إلا بحصيلة ضرب الضغط بالمسافة التي تفصل بين القطبين . ووصف تومسون القوس الكهربائي الذي كان آ . بلونديل Blondel في فرنسا قد درس مختلف انظمته والذي يتميز بتيار قوي جداً ، « ويحدث ضوء شديد وحرارة قوية تعطيه أهمية عملية كبيرة » . وأعطى المظاهر المختلفة للتفريغ في الضغط المنخفض ، كما كان فراداي قد رصدها سنة 1838 ، كما عالج توزع الحقل الكهربائي ، على طول التفريغ ، المدروس تجريبياً من قبل العديد من المؤلفين منذ هيتورف Hittorf سنة 1883 حتى هـ . آ . ولسون Wilson سنة 1900 وذكر أن ج . زيليني Zeleny وك . تشايلد Child بينا كل على حدة ، سنة 1898 ، إن الحقل الكهربائي بين صفيحتين غارقتين في غاز مؤين ليس موحد الشكل ، وهذا ما شكل أصل قانون تشايلد - لانغموير Langmuir حول التيار داخل الديود الحراري الايوني [الديود هو مركب الكتروني لتصحيح مسار التيار ويسمى أيضاً بالصمام الثنائي] .

ووصف تومسون الدراسات التجريبية حول أثر العوامل المختلفة المؤينة ، وبث الالكترونات بفعل المعادن المحمأة (وهو الاثر الحراري الايوني) والتأيني بواسطة الشعلات ، وبصورة خاصة أثر العوامل الثلاثة المستخدمة من قبل المجريين وهي : أشعة رونتجن Röntgen ، والضوء فوق البنفسجي ، وأشعتهما α و β المنسوتان إلى بكريل .

وتنتج الايونات المشكلة على هذا النحو لكي تندمج من جديد في معدل يتناسب مع اعداد الايونات الإيجابية والايونات السلبية أو الالكترونات ضمن وحدة الحجم . أما معامل النسبة ، المسمى معامل إعادة المزج بالحجم والمقاس من قبل روثرفورد Rotherford سنة 1897 ، فهو يتدخل في معدل التأين (أي في النسبة المثوية للذرات المؤينة) ، عند التوازن ، بحضور عامل تأيني ، وكذلك ضمن قانون تناقص التأين عندما يلغى هذا العامل .

ويمعزل عن إعادة الدمج حجماً تزول الايونات بفعل التحديد فوق جوانب الوعاء الذي يحتوي الغاز . وهكذا يكون تركيز الايونات أخف بقرب الجوانب . وتنتشر الايونات من منطقة

التركيز القوي نحو منطقة ضعيفة ، أما عدد الايونات التي تجتاز وحدة المساحة ضمن وحدة الزمن فيتناسب مع معدل التغير في التركيز . إن معامل التناسب D ، ومعامل الانتشار ، قد جرى قياسه بالنسبة إلى العديد من الغازات ، من قبل ج . س . تاونسند في مختبر كافنديش Cavendish .

وتحت تأثير التلاحم مع الايونات الأخرى والذرات ، تأخذ الايونات والالكترونات الخاضعة لحقل كهربائي E سرعة تعادل μE تتناسب مع الحقل . إن الحركة μ في العديد من الغازات المختلفة ، قد جرى قياسها بشكل منهجي من قبل روزفورد ، وبين طومسون أن التحرك ومعامل الانتشار مترابطان ، ووضع بينهما علاقة تساوي العلاقة الانشيبينية التالية : $D/\mu = KT/e$ وهي معادلة تصلح لظواهر الانتشار في وسط بحالة توازن حراري ديناميكي في درجة حرارة T . ونلاحظ عمومية مفهوم الحركة الذي يمكن ربطه بمفاهيم السرعة الوسطى والاجتياز الحر الوسط بين صدامين كلاسيكيين نظرياً من نظرية حركية الغازات : أما معامل الحركة فقد أدخل في نظرية التحليل بالكهرباء (المجلد الثالث) ؛ وهذا المعامل يدخل في نظرية درود Drude حول توصيلية المعادن ويلعب دوراً أساسياً في النظرية الحديثة حول أنصاف الموصلات .

في سنة 1902 نشر لانجفين - الذي كان قد أجرى مع ج . برين تجارب حول التأين بفعل أشعة X ، ثم قام بالتدرب في مختبر كافنديش - نشر اطروحة للدكتوراه الرائعة بعنوان « بحوث حول الغازات المؤينة » ومنها درس إعادة المزج ، والحركة في الايونات . ووفقاً لنظريته تتجاذب الايونات الإيجابية والايونات السلبية أي الالكترونات وتحدث تصادماً ، ينتج إحتكاك إعادة دمج . وهكذا وضع ترابطاً بين الحركة ومعامل إعادة الدمج . واقرنت هذه النظرية بعمل تجريبي ذي دقة علمية فائقة .

يعطي كتاب طومسون أهمية كبيرة لوصف التجارب المتناهية الابداع والتي جرت في تلك الحقبة حول الغازات المؤينة . وأدت دراسة التفريغ في الغازات إلى تعريف العديد من المعاملات التي كان لا بد من قياسها . وبعد نصف قرن من الزمن ، وبعد نضج بطيء للأفكار ، وتحت ضغط التطبيقات العملية ظهرت نظرية ميكروسكوبية حقيقية حول الغازات المؤينة . وكان الرواد في سنة 1900 قد حلّوا شبكة معقدة من الظواهر الجديدة .

خازنات الطاقة الكهربائية الثابتة (دي الكتريك) - قبل أن يظهر الالكترون بوضوح باعتباره عامل نقل الكهرباء في الغازات وباعتباره مكون الأشعة الكاثودية ، اسند إليه ه . آ . لورنتز دوراً أساسياً في نظريته حول المادة وبصورة خاصة حول الخازنات الكهربائية .

إن أثر الحقل الكهربائي حول الخازنات قد درسه فراداي سنة 1837-1838 ، وترجم بظواهر استقطابية . وهذا المفهوم يعزى إلى فراداي ، وأوضحه و . طومسون سنة 1845 وموسوتي Mossoti سنة 1847 وهو متصل مباشرة بمفهوم الثابتة الخازنة للكهرباء . في كتابه « نظرية الالكترونات » رأى لورنتز أن الخازنات تحتوي على شحنات كهربائية تخضع لقوى استعادة : وأتاح هذه الفرضية تفسير الاستقطابية بفعل تشكل الشحنات الكهربائية المتعاكسة تحت تأثير حقل كهربائي ثبوتي . والشحنة الخاضعة لقوة استعادة تشكل رقاصاً انسجامياً له تواتر خاص

يمكن حثه بحقل كهربائي مغناطيسي ذي تواتر مجاور . ويعد النظر إلى هذا التفاعل أمكن حساب لشابته الخازنة للكهرباء حتى التواترات الأكثر ارتفاعاً ، ثم بفضل معادلات مكسويل ، مؤشر الانكسار وسرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية .

ولتفسير امتصاص الموجات المجاورة لتواتر ترجيعي كان لا بد من إدخال - في معادلة المرجع - حداً تشبثياً . ويفسر كذلك التشتت غير العادي ، أي تزايد مؤشر الانكسار بسرعة قصوى مع تزايد التواتر عندما تقترب من تواتر امتصاصي ، وينقص فجأة ضمن شريط الامتصاص ثم يعود إلى التزايد فيما وراء هذا الشريط .

إن الأمر يتعلق إذاً بنجاح احرزته نظرية لورنتز ، خاصة إذا علمنا لماذا يصبح التواتر الامتصاصي في الذرة ، أيضاً تواتراً بئياً : فالرقاص بين الذرات هو مرسل اشعاع ؛ ويمكن أن نبرز جزئياً إدخال طرف مشتت بخسارة الطاقة الناتجة عنه .

وتتلاءم نظرية الرقاص الجيبي تماماً مع نموذج الذرة المقترح من قبل ج . ج . طومسون في تلك الحقبة : وهو النموذج المؤلف من كرة مشحونة بانتساق بكهرباء إيجابية ، فيها يستطيع الالكترون السلي أن يخترق وأن يرقص . إن هذا النموذج يسهل درسه بواسطة الكهرباء الثابتة ، ونجد تماماً أن الالكترون يشد نحو مركز الكرة بقوة تتناسب مع المسافة . ولكنه لا يسمح بتفسير السبب الذي يعطي للذرة عدة خطوط امتصاصية . ولانعدام وجود نموذج فيزيائي ، يتوجب الاكتفاء بتعبير عن الثابتة الخازنة حيث تتدخل عدة أطراف متطابقة مع مختلف التواترات الامتصاصية .

وظهر مع نظرية النسبية صعوبة أخرى . في شريط امتصاصي ، تصبح الثابتة الخازنة أقل من الوحدة : وسنداً لنظرية مكسويل ، يتوجب أن تكون سرعة الموجات فيها أعلى من سرعة الضوء في الفراغ . الأمر الذي يبدو متعارضاً مع مسلمة في نظرية النسبية . ولحل هذا الاشكال ، تبين أن سرعة المرحلة ، المرتبطة مباشرة بمؤشر الانكسار ، لا تضعيع في سرعة انتشار الطاقة ، إلا في وسط غير تشبتي . وإذا كان الوسط تشبثياً ، فإن هذه السرعة تصبح كسرعة المجموعة ، وهذا ما قال به هاميلتون Hamilton سنة 1839 واستعمله لورد رايلي Rayleigh في « نظرية حول الصوت » . ثم أن هذا المفهوم الأخير يبدو غير كاف بذاته في شرائط الامتصاص . في هذه الحالة الأخيرة ، حدد سومرفيلد Sommerfeld سنة 1907 سرعة إشارة ، وبريلوين سرعة انتشار للطاقة ، سنة 1914 : هاتان السرعتان وحدهما ، لهما في كل الحالات ، معنى فيزيائي ، وهما دائماً أقل من سرعة الضوء في الفراغ ، كما تريده نظرية النسبية . إن هذه المفاهيم تبدو صالحة مهما كانت الموجات ، واستخدمت أعمال سومرفيلد وبريلوين دائماً كأساس لعلماء الالكترون الذين يلاقون صعوبات مماثلة ، خاصة في مرشحات الموجات ، والخطوط الدورية وفي البلاسمات [الغازات الكثيفة التأين] .

وهكذا عرفت نظرية الالكترونات نجاحات ومصاعب . والنجاح الحاصل سنة 1896 من قبل لورنتز في تفسيره لمفعول زيمان ، كان حجة مهمة لصالحها . وبالشرح المتناسك للعديد من

الأحداث ، دلت نظرية الالكترونيات أن أساسها كان سليماً حتى ولو توجب اصلاحها من أجل استبعاد الصعوبات الباقية .

الخصائص الكهربائية في المعادن - في القرن التاسع عشر ، عُرف أن انتقال التيار في المعادن لا يقترن بنقل مهم للمواد ، بعكس ما هو حاصل في السوائل التحليلية بالكهرباء (الكتروليت) . فكان من الطبيعي إذاً أن تماهى حاملات التيار ، مع الالكترونات ذات الكتلة الخفيفة التي اكتشفت من عهد قريب ، خصوصاً وأنه أصبح بالإمكان ، بعد تحمية المعادن أو بعد رجما بالضوء فوق البنفسجي معرفة كيفية استخراج الالكترونات منها . إن هذه الواقعة الأخيرة أدت بسهولة إلى استنتاج مفاده أنه يوجد في المعادن الكترونات مرتبطة بوهن ببقية المادة . وعلى أثر طومسون وريكي Riecke ، افترض ب . درود P. Drude (1900) ، أن هذه الالكترونات حرة ، وإنها تشكل نوعاً من الغاز يحتوي الاقسام الايجابية من الذرات . كما هو الحال مع جزيئات الغاز تتحرك هذه الالكترونات بحركة غير منتظمة ، جاء تطبيق حقل كهربائي عليها يراكم فوقها حركة إجمال . وتضايق الايونات هذه الحركة ، وكما هو الحال في النظرية الحركية للغازات ، بالإمكان تحديد مسارٍ وسطي يمثل المسافة المقطوعة وسطياً ، من قبل الالكترون ، بين صدمتين ضد الايونات . ويتج عن ذلك بسهولة تعبير التوصيلية الكهربائية ، كما هو الحال في نظرية الغازات المؤينة . وعند الاصطدامات غير المنتظمة ضد الايونات تنقل الالكترونات إليها قسماً من طاقتها الحركية التي تتحول بالتالي إلى حرارة : إنه مفعول جول Joule .

وبعد أن شرح درود التوصيلية الكهربائية ، حاول أن يفسر توصيل الحرارة بواسطة المعادن ، مفترضاً أن نقل الحرارة يجري بواسطة الالكترونات . وكان التوافق بارزاً ، إذ استطاع أن يستنتج منه القانون الحاصل تجريبياً على يد ويدمان Wiedemann وفرانز Franz : إن التوصيلية الكهربائية σ والتوصيلية الحرارية X تتناسبان ؛ وعلاقتهما المتماثلة ، بالنسبة إلى كل المعادن ، تتمثل بالعلاقة : $X/\sigma = 3 (k^2/e^2) T$ وفيها ترمز T إلى درجة الحرارة المطلقة وترمز e إلى شحنة الالكترون و k إلى ثابت بولتزمان .

وبخلال القرن التاسع عشر ، تم اكتشاف روابط أخرى بين الحرارة والكهرباء هي الظواهر الحرارية الكهربائية . في سنة 1822 لاحظ سيك Seebeck ظاهرة اعتبرت فيما بعد مسببة بظهور تيار كهربائي في حلقة مؤلفة من عدة معادن رفعت مناطق تماسها إلى درجات حرارة مختلفة . في سنة 1834 حصل بلتييه Peltier على إنتاج وامتصاص الحرارة تبعاً لاتجاه التيار . ويمكن تفسير هذه الظواهر نوعياً من خلال نظرية درود . ويتيح الترموديناميك ربطها كماً ببعضها . وأخيراً نرى أن هذه النظرية تعطي تفسيراً للبت الحراري الايوني . وهنا تتوقف نجاحاتها . وسنداً للتعبير الذي تعطيه هذه النظرية بالنسبة إلى المقاومة الكهربائية ، من المفروض أن تتغير هذه المقاومة تبعاً لتغير الجذر التربيعي لدرجة الحرارة المطلقة في حين تدل التجربة على أن العلاقة هي علاقة خطية . ومن جهة أخرى يريد الترموديناميك الثابت الكلاسيكي أن يملك كل الكترون وسطياً طاقة تعادل $3/2 kT$ ، مثل جزيئات الغاز الكامل ، الأمر الذي يؤدي إلى نتيجة مضللة فيما يتعلق بالحرارة النوعية

في المعادن : وهذه المعادن لا تتبع قانون دولونغ وبيتي Petit في حين أن التجربة تدل على صحة هذا القانون . وأخيراً عندما عمل لورنتز سنة 1905 على تحسين نظرية درود ، محللاً الالكترونات ذات السرعات الموزعة وفقاً لتوزيع مكسويل وليس وفقاً للقيم الوسطى ، وجد عاملاً 2 بدلاً من العامل 3 في قانون ويدمان وفرنز ، محطماً بذلك التوافق مع التجربة . ورغم هذه الصعوبات فإن المظهر الإيجابي في نظرية درود كان مهماً جداً بحيث يصعب التخلي عنه حتى ولو لم تعرف طريقة تحسينه . إن الفرضية الأساس في هذه النظرية أي معرفة الدور الذي تلعبه الالكترونات في التوصيلية الكهربائية في المعادن ، قد تأكدت في جميع الأحوال بإثبات تجريبي مباشر . في سنة 1917 قام تولمان Tolman وستيوارت Stewart بقياس النسبة e/m بين الشحنة والكتلة في الجزئيات المسؤولة عن نقل التيار الكهربائي . وضبطا فجأة بكرة من النحاس تدور بسرعة عظيمة حول محورها : وبفعل الجمود ، نزع حاملات الشحنة إلى الاستمرار في الحركة ، فأحدثت تياراً في غلفانومتر [مقياس للتليس المعدني] متصل بطرفيه بالبكرة ، بواسطة الاحتكاك . هذه التجربة استعيدت ثم حسنت فيما بعد ، فقدمت قيمة لـ e/m تساوي قيمة الالكترونات الأشعة الكاثودية ، مؤكدة بالتالي دور الالكترونات في تمرير التيار الكهربائي .

البث الحراري الايوني - من نجاحات نظرية درود كان تفسير الاثر الحراري الايوني ، أي بث الالكترونات بفعل المعادن المسخنة . منذ القرن الثامن عشر لاحظ العديد من المؤلفين ، ومنهم دوفاي Du Fay ، سنة 1733 ان الهواء يصبح موصلاً في جوار المعادن المسخنة . واستلقت هذه الظاهرة القليل من الاهتمام ، إلى أن جاءت تجارب أجريت بعد قرن من الزمن من قبل آ . بكريل (1853) وغوثري Guthrie (1873) ، ور . بلوندلو Blondlot (1887) . وفي سنة 1880 قام ج . الستير Elster وه . غيتل Geitel بدراسة منهجية لتكهرب الأجسام الحارة . وأعطى طوماس اديسون Edison سنة 1881 ملاحظة أساسية حول مرور التيار الكهربائي بين خط حار وقطب بارد وضعاً في نفس اللبنة الفارغة : ولكي يمر التيار ، كان لا بد من جعل هذا القطب إيجابياً بالنسبة إلى الخيط وهذه السمة درسها بالتفصيل و . بريس Preece سنة 1885 ، وبصورة خاصة ج . آ . فليمينغ Fleming سنة 1890 وسنة 1896 . وهي تفسر بسهولة إن افترضنا أن السلك الحار يث جزئيات مشحونة سلبياً : وهذا هو البث الحراري الايوني .

وكان المنظر الكبير للبث الحراري الايوني أوين وليام ريشاردسون Richardson الذي حاول أن يشرح ، إنطلاقاً من نظرية درود ، التغير الأسّي في التيار المبثوث في خيط حار تبعاً لدرجة حرارته وهو قانون توصل إليه تجريبياً .

لقد اعتقد أن الالكترونات تملق في الجوامد بقوة شبيهة بالضغط الاصطناعي الذي يحبس الجزئيات داخل سائل فلا يمر منها إلا قسماً بحالة البخار . وبعد نقل الصيغة التي أعطت الضغط البخاري ، حصل على القانون التالي : $I = AT^{3/2} \exp(-B/T)$.

ولم يبدُ تحليله مرضياً بنظره ، وبعض التجارب أثبتت الشك في وجود البث الحراري الايوني في الفراغ فأعاد دراسة الموضوع كما فعل ذلك أيضاً العديد من المؤلفين . وبالإرتكاز على

اعتبارات حرارية ديناميكية حصل سنة 1912 على المعادلة المعدلة قليلاً : $I = AT^2 \exp(-B/T)$. ولم تستطع التجربة الحسم للاختيار بين المعادلتين والدالة الأسية غطت على التغيرات بين $T^{1/2}$ و T^2 . إلا أن الصيغة الثانية هي المعتمدة في الوقت الحاضر . وبالفعل يمكن تفريرها إنطلاقاً من حساب إحصائي يأخذ بالاعتبار توزيع سرعة الالكترونات . وأكثر من ذلك قدم دوشمان سنة 1923 برهاناً حاسماً حين أثبت أن المعامل A في قانون ريشاردسون المعدل هو ثابتة شاملة قدم قيمتها . وتقديم الميكانيك الكانتي من قبل سومرفيلد سنة 1928 ، لم يترجم إلا بضرب معامل دوشمان Dushman بمائتين ، لكي يؤخذ حساب القيمتين $(\pm 1/2)$ للدوامة الالكترون . وأتاحت القياسات التجريبية تحديد الثابتين A و B بالنسبة إلى مختلف الأجسام والمعامل B مهم للغاية لأنه يتناسب مع ما يسمى « زخم الخروج في الجسم » . وتفترض نظريات استخراج الالكترونات من الجوامد وجود حائط من الزخم ، فوق سطح الجامد ، يمنع الالكترونات من الخروج . وفي البث الحراري الأيوني ، يعطي تسخين المعدن لقسم من الالكترونات طاقة كافية لتجنازه . وفي سنة 1914 قدر شوونكي Schottky ارتفاع هذا الحائط بحساب قوة الاستعادة الجارية فوق الكترون يخرج من الجامد ، وذلك بطريقة « الصور الكهربائية » المعروفة تماماً في مجال الكهرباء الثابتة . إلا أن الميكانيك الكانتي وحده هو الذي أتاح دقة حساب زخم الخروج .

البث الثانوي والمفعول الكهروضوئي - وهناك طرق أخرى عرفت حوالي سنة 1900 وأتاحت اعطاء الالكترونات المزيد من الطاقة اللازمة لها لاجتياز هذا الحاجز من الزخم الكامن . من ذلك أن ضمة من الالكترونات « الأولية » التي تضرب سطح الجامد ، إن كان موصلًا أو عازلاً ، تستطيع استخراج الكترونات « ثانوية » . إنها عملية البث الثانوي التي اكتشفت في تلك الحقبة بفضل أوستن Austin وستارك Starke .

إلا أن الظاهرة الأكثر أهمية هي الأثر الكهروضوئي ، الذي اكتشف علي يد هـ . هرتز سنة 1887 ، ودرس في السنوات اللاحقة من قبل هالواش Hallwachs : إن الجامد يستطيع أن يبت الكترونات بتأثير من الاشعاع الضوئي أو فوق البنفسجي . لم تبد هذه الظاهرة غريبة في بادئ الامر إذ كان معروفاً أن الاشعاع ينقل الطاقة . وادت دراستها التجريبية إلى حدث مزعج ، أثبت لينارد ومفاده : إن نحن غيرنا زخم الضوء ، دون أن نعدل في توزيعه الطيفي فإن عدد الالكترونات المبعوثة يتغير نسبياً مع تغير الزخم الضوئي ، ولكن سرعة الالكترونات تبقى واحدة . وبدت هذه النتيجة مدهشة بشكل خاص عندما أصبح زخم الضوء ضعيفاً للغاية إذ بدا عندئذ تجمع قسم كبير من الطاقة الضوئية المستقبلية ، فوق كل الكترون مبعوث .

ولتفسير هذه الحادثة وضع انشتين الفرضية القائلة بأن الضوء يتكون من حبيبات من الطاقة هي الفوتونات التي تتناسب طاقتها $h\nu$ مع التواتر ν وقد سبق لبلانك في نظريته حول اشعاع الجسم الاسود أن كعم طاقة الرقاصات التي تنتج الاشعاع ، ولكنه افترض أن الطاقة الكهرومغناطيسية قد تغير بشكل مستمر .

وكانت وجهة نظر انشتين أقرب إلى المنطق ولكنها أيضاً أكثر جرأة لأنه تصدى لمفهوم كلاسيكي للموجة الكهرومغناطيسية . وفي ما بعد جاء الميكانيك التكملي يوفق بين وجهتي النظر

معطياً للحقل الكهرومغناطيسي مظهراً مزدوجاً تموجياً وجسماً .

وثبتت نظرية الأثر الضوئي التي اقترحها انشتين بفضل القياسات التي أجراها ميليكان بواسطة ضوء وحيد اللون فقد بينت هذه القياسات أن الطاقة في الالكترونات المبعثرة تتمثل بالعبارة التالية : $h\nu - e\Phi$ وفيها تمثل Φ زخم الخروج المحدد بدراسة البث الحراوي الايوني . ويتفسر هذا القانون بسهولة إن نحن افترضنا أن كل فوتون يعطي طاقته $h\nu$ للالكترون يجب أن يقدم هو نفسه العمل $e\Phi$ لكي يخرج من الجامد . وبين هذا القانون أن الأثر الضوئي الكهربائي لا يمكن أن يحدث إلا بفعل ضوء ذي توتر عالٍ بشكل كاف بحيث تكون طاقة الفوتون $h\nu$ أعلى من جهد الخروج $e\Phi$.

التأين - إن ظاهرات تأين الذرات يمكن مقارنتها باستخراج الالكترونات من الجوامد وهكذا يقترب التأين عن طريق الضوء فوق البنفسجي من المفعول الكهروضوئي . إن نموذج ذرة طومسون قلما يفيد في تفسير الظاهرات المعقدة الملحوظة في الغازات المؤينة وعلاقتها مع بث الضوء في الأنابيب التفريغية . ولم يكن الأمر هكذا في نموذج اقترحه بوهر سنة 1913 .

إذ وفقاً لنظرية بوهر Bohr لا يمكن أن تحتل الالكترونات في الذرة إلا حالات ثبوتية تتوافق مع مدارات اهليلجية لا تستطيع فيها الالكترونات التشيع . ويستطيع الكترون قوي بالطاقة بشكل كاف ، إذا اصطدم بذرة ، أن يعطيها جزءاً من طاقته وينقل الكتروناً داخلياً من مستواه الطبيعي E_1 إلى مستوى طاقة أعلى E_2 ، أي إثارة الذرة ، أو حتى انتزاع الكترون داخلي أي تأين الذرة . ويقال عندئذ أن الالكترون تلقى صدمة غير مطاطية بعكس الصدمات المطاطية حيث تحتفظ الذرة بطاقته الداخلية ثابتة وتتصرف كجامد لا يتغير شكله في الميكانيك الكلاسيكي .

وعند رجوع الالكترون الداخلي من المستوى E_2 إلى المستوى E_1 فإنه يفرز فوتوناً تواتره يساوي $\nu = (E_2 - E_1)/h$. إن عملية البث هذه للموجات الكهرومغناطيسية التي هي وحيدة عملياً في الضوء المرئي ، قد لعبت دوراً غير مهم في الاشعاع الكهربائي إلى أن جاءت الأعمال التي انتهت باكتشاف المازر سنة 1950 [المازر هو مكبر اشعاعي] .

وتأكدت أفكار بوهر منذ 1913 ، بفضل تجربة مهمة قام بها ج . فرنك وج . هرتز .

أحدث فرنك وهرتز ضمة من الالكترونات ذات السرعة المضبوطة بفضل جهاز من الشبك ضمن بخار الزئبق ، وقاسا التيار المستقبل فوق أنود (قطب إيجابي) تبعاً لطاقة الالكترونات . ورصدوا وجود حدود دنيا تتوافق مع الطاقات الحثائية في الزئبق . وقارنا الطاقة الدنيا الحثائية (4.9ev ، 4.9) (الكنتروفولت) بتواتر الخط الضوئي الصادر عن الذرة المحفزة ، فحصلنا على قيمته الثابتة h البلانكية . واعتبر بلانك تحديد h وكأنه الأكثر قرباً إن لم يكن الأكثر دقة .

وتفسر الصدمات بين الذرات ذات الطاقة الحراوية الكافية تأين غازين مسخنين وخاصة اللهب . إن معامل التأين يمكن أن يتحدد بفضل الحرارة الديناميكية . إن الامر يتعلق هنا بتوازن من الذرات ، وبين الايونات والالكترونات من جهة أخرى وهو توازن يشبه التوازنات الكيميائية . وتمت دراسة هذا التوازن بفضل مخ ناداساها Megh Nad Saha سنة 1920 . ووضعت نظرية

الفضاءات الكوكبية ، من أجل نظام يبعد كل البعد عن الالكترونيات ، ولكنها شكلت مساهمة مهمة في معرفتنا للغازات المؤينة .

III - اختراع الانابيب الالكترونية ونهضة الكهرباء الاشعاعية

الديود [الصمام الثنائي] الحراري الايوني - فيما كان العلماء يوضحون نظرتهم حول النظرية الالكترونية في المادة أخذ باحثون آخرون في استعمال الالكترونيات لغايات عملية . فارتأى فليمنج امكانية التقاط الت موجات الكهربائية بواسطة صمّام حراري أيوني . وفي سنة 1905 سجل هذه الطريقة رسمياً من أجل قلب التيارات المتساوية إلى تيار مستمر . وأثناء السنوات اللاحقة ساهمت الاكتشافات العديدة والتحسينات في صنع أنابيب فراغ حديثة انطلاقاً من ديود فليمنج Fleming (في الكهرباء مقوم للتيار ، وهو انبوب ذو قطبين لبث الاشعاعات الضوئية) .

واكتشف وهنلت Wehnelt وهو يدرس بث خيط من البلاتين عارضة الكاثود الاكسيدي سنة 1903 ولاحظ وجود بث في بعض أقسام من الخيط في درجة حرارة منخفضة جداً بحيث يصعب نسه إلى الخيط بالذات ؛ فافترض وهنلت أن البث يعود إلى شوائب . وبعد التخصّص المنهجي لبث الاوكسيدات المعدنية ، استنتج أن الاوكسيدات القلوية الترابية هي أفضل الباثات الحرارية الايونية . وأخذ العديد من المؤلفين يومئذ في درس عملية الكاثود الاوكسيدي ، ولكن كان لا بد من انتظار بروز نظرية الموصلات النصفية لفهم مسار العملية التي ما تزال نقاطها العديدة غامضة . ولم يمنع هذا من استخدامها (أي استخدام عملية البث) في كل أنابيب استقبال الاشعاع الكهربائي .

وفي سنة 1910 تقريباً اشتغل ايرفن لانغموير Langmuir بمختبر جنرال الكتريك في تحسين المصابيح التوهجية وفي صنع أنابيب اشعة أكس ذات الفراغ القوي . وكان لانغموير كيميائياً بتشتته فأجرى بحثاً رائعة حول غاز التانغستين مما أدى إلى صنع المصابيح التوهجية ذات الانتاجية الكبيرة وصنع الكاثودات من أجل الأنابيب الفراغية . وفي سنة 1913 نشر لانغموير دراسة مهمة حول العوامل التي تخفف البث الحراري الايوني إلى قيمة أدنى من القيمة التي أعطتها معادلة ريتشاردسون ويفضل أعماله حول المصابيح ذات أسلاك التانغستين ، استطاع أن يحل بث الالكترونيات داخل فراغ كامل بفضل المعادن النقية .

في بادئ الأمر شكلت الالكترونيات المبنوثة « شحنة فضائية سلبية » حدثت من البث في درجات الحرارة المرتفعة في الكاثود ، وفي الضغوطات الخفيفة على الأود : فاستنتج لانغموير أن التيار يتناسب مع القوة بمعدل ثلاثة أنصاف الضغط على الأنود ، إلى أن يبلغ التيار قيمة الاشباع التي يعطيها قانون ريتشاردسون . وفي الواقع وضع تشايلد سنة 1911 صيغة مماثلة لتيار من الايونات الايجابية واستكمل العمل الذي قام به لانغموير والذي يتناول الايونات ذات الالكترودات المسطحة بدراسة قام بها لانغموير وك . بلودجيت Blodgett عن الالكترودات القوية والاسطوانية (سنة 1923) ، وعينت بتوزيع سرعات الالكترودات التي ييشها الكاثود . ودرس لانغموير مفعول الغازات المتخلفة على التيار المبعوث وركز اهتمامه على تقنية الفراغ . وفي سنة 1916 حقق المضخة التكميلية ذات بخار الزئبق وهي شكل محسن جداً للمضخة الناشرة أو الباثة التي اخترعها

و. غايد Gaede سنة 1915. إن التقدم في تقنية الفراغ قد اتاح بداية حقبة لسلسلة من الانابيب الالكترونية. من ذلك أنه في سنة 1915 صنع دوشمان مساعد لانغموير ديوداً ذا فراغ مكثف اتاح تجليس وتقويم التيارات المرتفعة تحت ضغوطات قوية وسماه باسم « كينوترون » (مقوم التيار) ووجد هذا الديود تطبيقات عديدة وبسرعة .

اختراع التريود أو الصمام الثلاثي - في حوالي سنة 1903 عمل لي دي فورست Lee de Forest ، هو أيضاً ، للحصول على لاقط حساس بالنسبة إلى الموجات الهرتزنية . وبعد عدة محاولات توصل إلى أن يضع في لمبة فارغة قطباً حاراً وقطباً بارداً وصلهما بالأرض وبداية الاستخدام مع الاتصال التسلسلي مع بطارية . وكان هوائي الالتقاط موصولاً بورقة معدنية تحيط باللمبة ، ثم ابتداء من سنة 1906 وصل هوائي الالتقاط بقطب ثالث داخلي اعطى سنة 1907 شكل شبك موضوع بين الكاثود والأنود .

وهكذا حقق لي دي فورست أول مصباح بثلاثة مسارب أو أقطاب ، وسماهما الأديون الذي هو جد التريودات الحديثة واستعملت هذه اللمبة كلاقط فقط حتى سنة 1912 تقريباً ، وأدى تماثلها مع ديود فليمنغ أو أنبوبه إلى قيام نقاش طويل حوله . إلا أن وجود قطب قيادة « جعل من هذه اللمبة همزة وصل من شأنها أن تضخم الاشارات المستقبلية » وحاول ف. لوفنشتين Lowenstien سنة 1911 أن يستخدمها كمضخم فواجه صعوبات كبرى بسبب الفراغ غير الكافي السائد داخل الأنبوب . ومع ذلك فقد نجح في السنة التالية وسجل براءة الاختراع المضخم « مرتبة A » وهو مضخم ذو ثلاثة أقطاب « تريود » يعمل ضمن النظام الخطي .

وانتشر الاهتمام بالانبوب ذي الثلاثة أقطاب في العديد من البلدان قبل سنة 1914 . في فرنسا شجع الكيثنان فريه Ferrié مساعده ه. ابراهام على الصنع وعلى التحسين . وفي ألمانيا بدأ ر. فون لين Von Lieben أعمالاً حول الأنبوب الثلاثي الاقطاب حتى اعتبر أحياناً وكأنه المشارك في اختراع التريود . وفي سنة 1915 قدم لانغموير تحسيناً حاسماً حين صنع « البليوترون » (الصمام المتعدد) وهو تريود ذو فراغ مكثف لم يكن عمله يشوش بتأين الغاز التخلفي . ضمن هذه الشروط تمتلك أنابيب الفراغ مرونة كبيرة عند الاستعمال ، الأمر الذي أعطاهما النجاح . وقد زيدت إمكاناتها بإدخال الشباك الإضافية : اختراع « التترو » أو الأنبوب ذي الأقطاب الأربعة من قبل هول Hull وشوتكي Schottky سنة 1916 ، واختراع « الباتود » أو الخماسي الاقطاب على يد الهولندي تليجين Tellegen سنة 1928 .

التلغراف اللاسلكي (S.T.F) قبل أنابيب الفراغ - في الوقت الذي ظهرت فيه الأنابيب الالكترونية طبقت الكهرباء الاشعاعية عملياً في التلغراف اللاسلكي . في حين حقق خلفاء ه. هرتز في المختبر تجارب إبصارية هرتزية ، خطر لماركوني Marconi حوالي سنة 1895 استعمال الموجات التي اكتشفها هرتز ليصنع منها التلغراف اللاسلكي . وبذات الوقت عمل آ. بوبوف Popov في روسيا على اكتشاف المواصف وذلك بالنقاط الموجات التي تحدثها بواسطة لاقط مزود بهوائي . وفيما بعد وحتى وفاته التي حصلت سنة 1906 ، حاول أن يحقق اتصالات اشعاعية كهربائية على مسافات تتزايد باستمرار . إلا أن التجارب الأكثر وضوحاً ، وهي التجارب التي

أخرجت التلغراف اللاسلكي ، أجريت من قبل ماركوني في انكلترا ابتداء من سنة 1897 . فقد استخدم كل العناصر المتاحة له : مثل مفجر هرتز ، وطوق تسلا Tesla وهوائي بويوف وكشاف برانلي Branly فأقام اتصالاً عبر بحر المانش سنة 1897 ، ثم فوق الأطلسي سنة 1902 فكذب التنبؤات المشائمة حول إمكانات التقاط الموجات الاشعاعية الكهربائية على بعد آلاف الكيلومترات .

ووجهت هذه النجاحات الاشعاعات الكهربائية الناشئة في طريق مختلف جداً عن طريق الابصار الهرتزي : إنها طريق نقل المعلومات ، في بادئ الامر عبر التلغراف اللاسلكي وأخيراً عبر التلفون اللاسلكي ، عن طريق البث الاشعاعي وعن طريق التلفزيون ثم عن طريق الاشعاعات الهرتزية . وانتشر استعمال محطات التلغراف اللاسلكي بسرعة : واقامت محطات فوق السفن من قبل ماركوني منذ سنة 1904 ، واستعملت هذه المحطات خلال الحرب الروسية اليابانية عام 1904 . وقد استعملت في بادئ الامر سلاسل الموجات المملطة ، تحدثها مرسلات ذات مفجرات ، انتجت بأشكال متعددة . في هذه الاثناء جرى البحث السريع للحصول على موجات مغدة تتلاءم مع التلفون وكان هناك حلال في العقد الأول من القرن العشرين : الأول هو المرسل القوسي والثاني هو المرسل التناوبي . والمرسلات ذات القوس ، اخترعها الدنماركي بولسن Poulsen سنة 1903 فأعطت قوى ذات طاقة تبلغ مئات الوف من الكيلواط ، إنما بأطوال موجات تقل عن ألف متر . في الولايات المتحدة بين نيكولا تسلا وهو مهندس من أصل صربي قدم مساهمات مهمة للتقنية الكهربائية ، انه يوجد سبيل آخر وذلك حين صنع سنة 1891 منابياً ذا 384 قطباً يمكنه أن يحدث تواتراً مقداره عشرة كيلوهرتز . وقد وضعت منابيات ذات تواتر عال لتجهيز الشبكة التلغرافية الدولية بعد الحرب العالمية الأولى : وكان بعض هذه المناوبات قد ظل يعمل حتى سنة 1944 .

وبذات الوقت الذي كانت تتطور به المرسلات أو البثات تم اكتشاف لاقطات جديدة . في سنة 1900 انجز فريه اللاقط الكهربائي التحليلي . ونجح اللاقط الكهربائي الرصاصي (الغالياني) ، الذي ما يزال يستعمل من قبل بعض الهواة ، وكان هذا اللاقط أول موصل نصفي استعمل في الكهرباء الاشعاعية .

استعمال الأنابيب ذات الفراغ - تلك كانت الحالة عندما بدى باستعمال الانابيب الفراغية كمضخمات سنة 1912 . والواقع أن فكرة التضخيم كانت معروفة من قبل : من ذلك أنه من أجل استدراك ضعف الاشارات على الخطوط التلفونية ، تم وضع « موصلات ميكروفونية » ، بخلال مسافات منتظمة ، وتتألف هذه الموصلات من ميكروفون أو مضخم يوضع في مواجهة سماعة : وقد يكون للتيار المحدث بفعل الميكروفون زخم أقوى من زخم التيار الذي تلتقطه السماعة . إلا أن الأنابيب الفراغية كانت ذات استعمال أكثر مرونة . فقد كان يكفي توصيل ضغط تناوبي ذي ضخامة ضعيفة ، فوق شبك التريود ، من أجل الحصول على طاقة أكبر بكثير من حلقة الأنود .

ولاحظ العديد من المؤلفين إمكانية الاستزادة من فوائد المضخم وذلك برد قسم من الطاقة ذات التواتر العالي المحدثة في حلقة الأنود ، على المنخل ، مما يعني استحداث « ردة فعل » . ولاحظ الألماني ميسنر Meissner أن المضخم يحدث بذاته موجات كهربائية عندما يتجاوز معدل

ردة الفعل عتبة الانطلاقة ، وفي سنة 1913 سجل أول براعة حول استعمال التريود التآرجحي .

وهناك مثل على غنى الامكانات المتوفرة عن طريق أنابيب الفراغ هو اختراع المذبذب المكثف من قبل هـ . إبراهيم وآ . بلوخ سنة 1918 وهذا المذبذب هو جهاز لا يعطي أرجحة جيئية بل يتأرجح بدون توقف بين موقعين غير مستقرين . وقد فتح هذا « القبان الالكتروني » الطريق إلى إدخال انابيب الفراغ في الحاسبات العديدة قبل ذلك بعدة سنوات .

وهناك وظيفة أخرى قامت بها الأنابيب الفراغية ، هي تعديل ضخامة موجة تحمل توتراً عالياً وذلك بأرجحة ذات تواتر منخفض . ورغم أن هذه الوظيفة تلعب دوراً أساسياً في نقل المعلومات عبر الموجات الكهرومغناطيسية ، إلا أن معنى مفهوم الاعتدال أو التعديل لم يبرز في بادئ الامر . وفي سنة 1910 ساد الاعتقاد بأن الموجة المعدلة لها تواتر وحيد وضخامة متغيرة . وبقيت الدراسة الرياضية للموجة المعدلة ، من قبل ك . ر . انغلند England في آب سنة 1914 ، بدون نتيجة عملية . ولكن في كانون الأول سنة 1914 بين ر . آ . هين Heising بصورة تجريبية أن الموجة المعدلة تحتوي زيادة على الناقلة ، شريطين طوليين يمكن فصلهما بواسطة المصافي . وفي سنة 1915 بين ارتولد Arnold وكارسون Carson أن كل شريط جانبي يكفي لنقل كل المعلومات . وأدى هذا بصورة تدريجية إلى مراكمة الخطوط التلقونية ثم قنوات التلفزيون ، أحدها إلى جانب الآخر ضمن طيف التواترات ، بفصل التضمين والتصفية : ونتج عن ذلك تقدم مواز في طرق نقل الأخبار بالخط أو بدون سلك . وهناك وسائل أخرى للتضمين ، قدمت فيما بعد ممكنة جديدة . ذلك كان الحال مع تضمين الموجات وتحويلها إلى تواتر ، وهو أمر درس منذ سنة 1920 إلا أن جدواه لم تظهر إلا سنة 1936 على أثر أعمال أرمسترونغ Armstrong . وتجاه كل نمط من أنماط التضمين ، وتجاه كل شكل من أشكال الموجات نطابق اليوم « طيفاً ذا » تواترات ، بفضل تحليل فورييه Fourier ، ومن المسائل الأكثر أهمية في الاتصالات المسافية ، وضع أكبر عدد ممكن من المعلومات في شريط تواتر ضيق ما أمكن . وثم التوصل إلى حل هذه المسألة بواسطة أطواق معقدة مكونة من أنابيب ومن شبكات كهربائية .

نظرية الشبكات الكهربائية - من أجل الإفادة من الأنابيب الالكترونية ، لا بد في هذا المجال من ربطها بمقاومات ، وقدرات ويحاثات وبمحولات تشكل شبكات كهربائية . والقوانين التي تحكم الضغوطات والتيارات في هذه الشبكات وضعها كيرشهورف Kirchhoff سنة 1845 . أما استخدامها فقد سُهّل باستعمال مفهوم المعاوقة الذي أدخله هيفيسايد سنة 1886 ليحبر عن العلاقة بين الضغط والتيار في حلقة مكونة من مقاوم ومن محاثة ، وتعمم هذا التطبيق في السنوات التالية فشمّل الأطواق (المدرات) التي تحتوي على قدرات . وتصوير المعاوقات بشكل أسهم أو أعداد معقدة ، بفضل كينلي Kennelly وستينمتز Steinmetz أدى خدمات عظيمة في مجال الالكترونيك وفي مجال البث الكهربائي ، كما أنشأ هذا التصوير استخراج العديد من سمات الشبكات من سمات الوظائف التحليلية : نذكر على سبيل المثال الصيغ التي توصل إليها ر . بود Bode وم . بايار Bayard سنة 1935 حين وضعوا علاقة بين القسم الحقيقي والقسم الخيالي في المعاوقة ، أو بين الضعف والانقطاع المحذئين داخل الشبكة .

وبفضل سمات الوظائف التحليلية أتاح مفهوم المعاوقة الحصول على خصائص في الشبكات الخاضعة لضغوطات كهربائية لولبية . ويستتج من هذا سماتها بالنسبة إلى أنظمة متغيرة وأكثر تعقيداً بفضل طريقة « الحساب العملياتي » . وهذا الأسلوب يشكله البدائي أدخله هيفيسايد في أواخر القرن التاسع عشر . أما دقته الرياضية فقد كانت موضوع جدل شديد . وقد أثبت سنة 1939 بفضل أعمال كارسون ، بواسطة تغييرات فورييه ولا بلاس لنظرية دالات المتغيرات المعقدة . وبهذا الشكل فقد توضح بفضل نظرية التوزيعات التي قال بها ل . شوارتز Schwartz ، وقد وجد هذا الأسلوب تطبيقات عملية في مجال السمعيات ، وفي مجال البصريات حديثاً .

وإدخال عناصر ناشطة في الشبكات ، عناصر مثل الانابيب الالكترونية ، يطرح مسألة استقرارها : وبلاستناد إلى نظرية الدالات المتعلقة بالمتغيرات المعقدة ومفهوم التفاعل وضع هـ . نيكويست Nyquist في سنة 1932 معياراً مهماً حول الاستقرار يطبق أيضاً على السرفوميكانيسم (أي مضاعفات الأوليات) . لقد سبق ورأينا مفهوم التفاعل في انتقال المضخمات إلى المؤرجحات . في هذه الحالة « يوجد تفاعل إيجابي » ، فالجزء من إشارة الخروج إذا أعيد إلى المدخل توجب أن يكون متطوراً بتطور الإشارة المبثوثة في المضخم لكي تنضاف إليه . وعندها يزداد كسب المضخم حتى يصبح غير محدود ؛ وعندئذ يصبح الجهاز غير مستقر فيولد الطاقة وفقاً لتواتر خاص به ، أما بشكل ذبذبات لولبية أو بشكل ذبذبات استرخائية ، أو بشكل تارجج بين حالتين غير مستقرتين . وبالتالي أكد حتى يكون هذا ممكناً ، يتوجب أن تتضمن الشبكة عناصر ناشطة ، أنابيب أو ترانزستورات مثلاً تقدم للشبكة الطاقة . وإذا أعدنا قسماً من إشارة الخروج نحو المدخل عكس الانتقال فإن هذا القسم ينطرح عكساً من الإشارة المبثوثة : وهذا « التفاعل السليبي » يخفض مكسب المضخم ؛ ومن بين منفعه أنه يجعل المكسب أقل تحسناً تجاه التغيرات الخارجية وأنه يشكل تفاعلية استقرارية . ولمفهوم التفاعل مدلول عام جداً ودراسته تعطينا ملخصاً رياضياً يفهمنا بصورة أفضل الآليات الطبيعية لعدم الاستقرار (التفاعل الإيجابي) ، أو بالعكس أولية الاستقرار والضبط في مجالات كثيرة التنوع . ولمفهوم التفاعل هذا أهمية أولية في مجال الالكترونيات التطبيقية .

وتبقى نظرية الشبكات الكهربائية حية للغاية ، تستعين بالطرق الرياضية الأكثر حداثة دون أن تعمى عن المظاهر الفيزيائية . من ذلك أن الحساب التوريي والمصفوفي يلعب دوراً أساسياً منذ نشر كتاب ج . كرون Kron وعنوانه « تطبيق المؤثرات على تحليل الآلات الكهربائية الدوارة » وذلك سنة 1938 . وحدها الطرق الأساسية تتبع تفسير العلاقات بين الضغط والتيار في مختلف فروع شبكة معقدة ودرس نقل الطاقة بين مختلف محطاتها .

وقدّمت الطوبولوجيا عوناً مهماً : فقد قادت س . مايسون Mason إلى أن يدخل ، في سنة 1953 طريقة سجلات الدفق وهي الطريقة التي تستخرج بعض سمات الشبكات من بنيتها الطوبولوجية . ومجمل هذه الطرق قد ساعد في صنع أنابيب الفراغ والترانزستورات فيما بعد ، ولغايات عملية أو علمية .

الضجة في المضخمات واللاقطات - في كل علاقة بين الاتصالات ، السلكية أو غير

السلوكية ، وفي كل النقاط اشارات ، تعتبر حساسية اللاقط عنصراً أساساً . في بداية بروز البث الكهربائي اللاسلكي كان موضوع الكشف أو اللاقط أحد أهم المواضيع . واليوم يعتبر تخفيف ضجة العمق هماً دائماً بالنسبة إلى التقنيين وبالنسبة إلى المجرمين . والواقع أن مسألة الضجة تتجاوز إطار البث الكهربائي اللاسلكي . في مقدمة الكتاب الذي خصصه ب . غريفيه Grivet وآ . بلاكير Blaquiére « لضجة العمق » ، سنة 1958 ، أشار د . غابور Gabor بأن « حدود الكون البشري تتحدد بفعل ضجة الأعماق » وبهذا اكتشاف أساسي في عصرنا . هذا صحيح بالنسبة إلى الفضاء ، عند الحد الميكروسكوبي كما عند الحد الكوني كذلك بالنسبة إلى الزمن ، سواء أردنا استكشاف الماضي أو التنبؤ بالمستقبل . كان الاقدمون يتصورون طرف العالم كشجر مقفر على شاطئ بحر ضبابي أما المعاصرون فلم يبق من هذه الصورة في ذهنهم إلا الضباب ، ضباب يتموج لا يمكن لمسه ولا يمكن سبره كما الفولاذ » .

ومنذ زمن بعيد من المعروف أن الضجة تحد من حساسية الأجهزة الكهربائية . وبينت مدام ج . دي هاز - لورنتز de Haas-Lorentz من سنة 1912 ان حساسية الغلفانومتر محدودة بالتأرجحات التي تعكس الحركة البرونية على المستوى التضخيمي الكبير (ماكروسكوبيك) . وكذلك ضجة أعماق المضخمات الالكترونية تحد من حساسية اللاقطات في مجال البث الكهربائي : وقد أوضح و . شوتكي أصل هذا سنة 1918 حين بين بأن البنية الجيبية للكهرباء تجر تغيرات في عدد الالكترونات المشوثة بالمفعول الحراري الأيوني . وتغيرات التيار الذي ينتج عنها في أنابيب الفراغ ، تحدث « ضجة الجيبيات » التي قال بيها شوتكي . في سنة 1928 درس ج . جونسون Johnson بصورة تجريبية مصدراً ثانياً للضجة سبق أن أشار إليه شوتكي أيضاً : كل مقاومة تحدث ضجة في العمق لا تتعلق قوتها إلا بدرجة الحرارة . وفي ذات السنة قدم هـ . نيكويست نظرية هذه الضجة ، مما أتاح لمولين Moullin ومعاويه أن يستخلصوا ثابتة بولتزمان حول قياسات الضجة البث كهربائية : والواقع أن نظرية الضجة الحرارية في مجال البث الكهربائي هي ذات علاقة مباشرة بنظرية اشعاع الجسم الأسود . ويمكن - بالنسبة إلى كل مركب من مجمل اشعاعي كهربائي - تعريف « درجة حرارة مساوية الضجة » وتعادل درجة حرارة المقاومة التي تشع نفس قوة الضجة بتواتر معين . إن درجة الحرارة في ضجة المضخم المثالي تساوي الصفر المطلق .

وقد أتاح تطبيق هذه النظريات صنع مضخمات حساسة جداً بواسطة التريودات والبانودات ، وبصورة خاصة بفضل أعمال اجرا د . نورث North وآ . سبينك Spence من سنة 1937 إلى سنة 1940 . ومنذ سنة 1945 وضعت نظريات مشابهة بالنسبة إلى الترانزستور وإلى البلورات الكشافية وبالنسبة إلى الخلايا الاشعاعية التي انجزها آ . فان درزيل Van der Ziel وباحثون آخرون .

انتشار الموجات الكهربائية أو الاشعاعية حول الأرض . اكتشاف الجو المؤين - ارتبط نجاح تجارب النقل اللاسلكي ليس فقط بنوعية المعدات المستعملة في البث وفي الالتقاط بل أيضاً بشروط انتشار الموجات .

والتجارب التي أجراها ماركوني في بداية ظهور البث التلغرافي بين بورثموت Portsmouth في بريطانيا وبين سبزيا Spezia في إيطاليا ، دلت على أن الموجات اللاسلكية الكهربائية يمكن أن تنتشر إلى ما وراء الأفق وتصل إلى مسافات بعيدة على الرغم من استدارة الأرض . وعزيت هذه الظاهرة في بادئ الأمر إلى تشتت الموجات وانحرافها . فإذا افترضنا أن الأرض جسم موصل تماماً ، فإن مسألة الانحراف تشبه المسألة التي عالجهها هـ . بوانكاريه في مجال البصريات وفي مجال السمعيات . ولكن المسألة تتعقد إذا أردنا أن نتعرف على التوصيلية النهائية في التربة أو في البحر . وقدم سومرفلد حلاً دقيقاً للانتشار عند وجود تربة ذات توصيل متناه ، ولكنها مفترضة مسطحة ، وذلك في نشرات صدرت سنة 1909 و 1926 . وكرمت أعمال أكثر جدة لهذه المسألة من قبل زينيك Zenneck ، وفان در بول Van der pol ، ونيسن Niessen ، ونورتون Norton . وأصبحت المسألة أكثر تعقيداً بإدخال التوصيلية النهائية ، وكروية الأرض بأن معاً : وأنشأت أعمال واتسون Watson ، ثم أعمال الكرسلي Eckersley وويدنسكي Wedenskey وفان در بول ويريمر Bremer الذين أخذوا الأمر في الحساب ، فهماً أفضل لبعض الخصوصيات في الانتشار البعيد المدى .

ودلت حسابات بوانكاريه على أن الانحراف لا يفسر نجاح النقل عبر الأطلسي الذي حققه ماركوني سنة 1901 . وبذات الوقت تقريباً اقترح كينيلي في الولايات المتحدة وهيفيسايد في إنكلترا وناغاوكا Nagaoka في اليابان ، في سنة 1902 ، إن الموجات يمكن أن تدور حول الأرض بفعل الانكماش على طبقات عليا في الفضاء مؤينة ، وهي فرضية دعمها في فرنسا آ . بلونديل سنة 1903 وهـ . بوانكاريه سنة 1904 .

كتب هيفيسايد في كتابه المعنون نظرية الكهرباء الغناطيسية ، وفيه بين أن خطوط النقل تحدث نوعاً من التوجه في الموجات ، يقول : « يحدث شيء مماثل في التلغراف اللاسلكي . فماء البحر وأن كان شفافاً بالنسبة إلى الضوء ، يتمتع بتوصيلية كافية تجعل منه موصلاً للموجات الهرتزية ، وهذا ينطبق ، وإن بصورة أقل كمالاً ، على الأرض - وبالتالي تكيف الموجات فوق سطح البحر كما لو أنها تسير في خطوط . . . وقد يوجد أيضاً طبقة موصلة بشكل كافٍ في الفضاء العالي . فإذا كان الأمر كذلك فإن الموجات تنتشر بهذا الفضاء إلى حد ما ، وإذا جاز القول . وعندها يتم التوجيه من قبل البحر من جهة ، ومن قبل الطبقة العليا من جهة أخرى . »

ومنذ سنة 1880 استشف علماء فيزياء الأرض وجود هذه الطبقة المؤينة لتفسير بعض خصوصيات الفجر القطبي والحقل المغناطيسي الأرضي . إلا أن هذه الفرضية لم تتم برهنتها تجريبياً . وكذلك كان الحال ، لمدة طويلة ، بشأن اقتراح كينيلي وهيفيسايد ، رغم حسابات واتسون وإكليس Eccles .

وكانت بداية الأعمال التجريبية حول الفضاء المؤين (يونوسفير) غير غريبة بدون شك على نجاح تجارب النقل البعيد بواسطة الموجات القصيرة : فطوال الموجات التي تقل عن 200 متر تركت للهواة إذ بدت أنها قليلة الجدوى ، إلا أن مجموعة من الأميركيين حسنة التجهيز قامت سنة 1921 بعملية كبيرة مكنتها من الاتصال بهواة إنكليز ؛ وبعد ذلك بستين قام هاو فرنسي بتثبيت

الاتصال بين فرنسا وأميركا في الاتجاهين . وكان نجاح هذه التجارب ما يزال يومئذ غير مفسر كما كان الحال بنجاح ماركوني سنة 1901 ، لو لم يتم ادخال الفضاء المؤين .

وقدم البرهان التجريبي على وجود الفضاء المؤين أو الكرة المؤينة سنة 1925 من قبل إبلتون Appleton وبارنت اللذين لاحظا وجود تداخل بين موجة معكوسة على الكرة المؤينة ، وموجة منقولة مباشرة إلى اللاقط . وفي السنة التالية انجز الأميركيان بريت Briet وتوف Tuve طريقة السبر الأكثر استعمالاً: فارسلوا نحو السماء إشارات (طقات) تشبه الإشارات التلغرافية المورسية (نسبة إلى مورس) ، فحصلوا على ارتفاع الطبقة حين قاسا الزمن الذي وضعته الموجة لكي تصل إلى اللاقط بعد أن تكون قد انعكست عليه ، وأمكن تبين وجود طبقة مؤينة على ارتفاع قريب من 120 كلم . . .

هي الطبقة E ، وعليها تنعكس الموجات الطويلة التي يبلغ تواترها 3,5 ميغاهرتز (Mhz) .

وفيما بعد اكتشف ، بين 200 و 400 كلم ، ارتفاع طبقة F تلعب دوراً أساسياً من أجل عكس الموجات القصيرة حتى تواتر 7,5 ميغاهرتز ، ثم فيما بعد تم اكتشاف طبقة D عند حدود 80 كلم . وفي الواقع تبدو بنية الكرة المؤينة (يونسفير) معقدة جداً ، لأنها تتغير بين الليل والنهار .

في سنة 1935 بين جواوست Jouaust وبيرو Bureau في المختبر الوطني للبت الكهربائي وجود علاقة بين التغيرات في اليونسفير أي الكرة الفضائية المؤينة ، والنشاط الشمسي . فالْيونسفير « ملتقى البحوث » بحسب تعبير بيرو ، يلعب دوراً أساسياً في الشبكة الكونية في الهاتف اللاسلكي وفي البث التلفزيوني ، وتشكل دراسته فرعاً مهماً في البيوفيزياء . وأعطى ظهور طرق سبر مباشر عن طريق الصواريخ والأقمار الصناعية اهتماماً جديداً لدراسة هذه الطبقة العليا .

ودلت أعمال السبر بأن الطبقات المؤينة تمتد بعيداً جداً عن الأرض أكثر مما تصور : هذا هو أحد أسباب العودة من جديد إلى نظرية الغازات المؤينة التي قدم لها الاختصاصيون في اليونسفير مساهمات مهمة .

التشويش الفضائي . علم الفلك الأشعاعي - هناك طريقة مميزة في درس اليونسفير [الكرة الفضائية المؤينة] ، استعملها في فرنسا بيرو ، وتقوم على استعمال « الطفيليات الفضائية » كموسلات طبيعية . وكان وجود هذه الطفيليات معروفاً منذ بداية الكهرباء الاشعاعية ، كعامل مضر . فقد ذكر باركهوسن Barkhausen حوالي 1916 ، وجود « صافرات » تحدثها العواصف الفضائية ، وبدأ أكرسلي Eckerstley بدراستها سنة 1928 وتمت العودة إليها بفض أعمال ستوري Storey سنة 1953 . ومنذ 1894 ، ظن لودج Lodge أن البث الاشعاعي الكهربائي يمكن أن يصلنا من الفضاء خارج نطاق الأرض ، خاصة من الشمس (وعمل على اكتشافه) بشكل موجات مستمرة محتملة . ولم تمكنه ادواته البدائية من التأكد . وفي سنة 1942 فقط استطاع سوثورث Southworth التثبت من وجود هذا « البث » الشمسي . في هذه الأثناء ، ولد علم جديد ، عبر اكتشاف جرى في البداية وبدا غير سطور تقريباً : فقد اكتشف جانسكي Jansky ، وهو يدرس سنة 1932 توزيع الطفيليات الفضائية وفقاً لتوجيه الهوائي ، بشأ على طول الموجة 14,60 م ، آتياً من « درب التبانة » . هذا العلم الجديد هو علم الفلك الاشعاعي (أنظر الفصل 4 من القسم الثالث) المتفرع من الكهرباء الاشعاعية وقد أخذ أدوات الرصد من التقنية الاشعاعية الكهربائية التي أعطت علم الكهربائية الاشعاعية بعض الانجازات الأكثر جمالاً . وقد استفاد العلم الجديد إلى حد بعيد

من سلم جديد في سلالم الكهرباء الاشعاعية : هو سلم التواتر العالي .

IV - التواتر العالي

بمقدار ما تطورت اللامسلكية والبيث الاشعاعي ، كان لا بد من اللجوء إلى تواترات أكثر فأكثر علواً تجنباً لشغب الاتصالات الكهربائية الاشعاعية المستعملة في الخدمة منذ زمن ، وللحصول على أطيف تواترات أكثر اتساعاً . وجعلت الامكانيات الجديدة التي قدمتها انابيب الفراغ لاهداث موجات لولبية ذات تواتر عالٍ وقوة عظيمة ، وكذلك الاطواق الجديدة المخترعة من قبل المهندسين ، والمعرفة الأفضل بشروط انتشار الموجات ، ويدور اليونوسفير [كل ذلك جعل] من الممكن استخدام الموجات القصيرة جداً ، وأطوال الموجات المتقلة من بضعة هكتومترات إلى بعض الامتار .

وفي السباق نحو التواترات العالية أمكن التوصل إلى نقطة أصبح فيها طول الموجة من نفس مستوى عناصر الدارات المستعملة . وامتدت حدود مجال التواتر العالي من أطوال موجات مقدارها بعض الدسيمترات نحو السلم المليميترى ، حيث اقتربت سمات الموجات من خصائص الضوء .

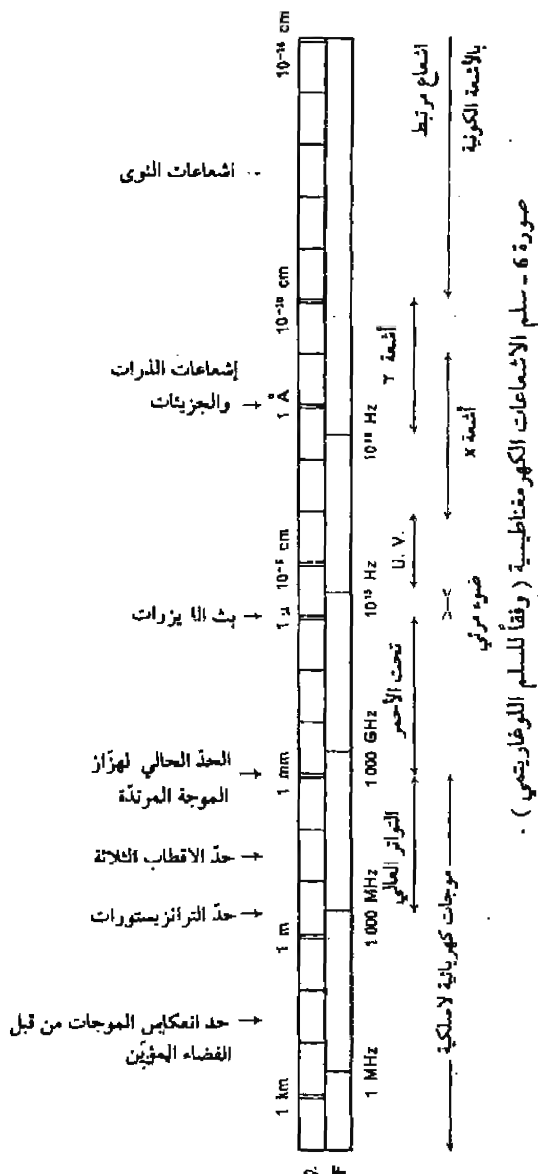
الابصار الهرتزي قبل سنة 1900 - منذ أواخر القرن 19 وعلى أثر تجارب هـ . هرتز التي نشرت سنة 1887 جهّذ السابقون في وضع علم ابصار حول الموجات الهرتزية . وهدفت تجارب هرتز ولاحقيه بصورة أساسية إلى التثبيت في تنبؤات مكسويل النظرية ، وإلى تبيين التشابه في الطبيعة بين الموجات الكهرومغناطيسية والضوء . وكانت هذه التجارب في عمومها مأخوذة عن تجارب علم الإبصار وتناولت انعكاس الموجات ، والانكسار والاستقطاب والتداخل .

وكانت التجارب التي جرت في تلك الحقبة ذات علاقة بدراسة الخزانات الكهربائية .

ودرس هرتز بنفسه ثبوتية الخازن الكهربائي للمواد مثل الصمغ والأميتست (حجر كريم) والبرمنغنات البوتاسية ، والغاز كربونيك ، أي الفحمي . وأجرى برانلي Brantly بحوثاً حول اتصالات الموجات الهرتزية عبر السوائل مثل الكحول والبتترول . وفي سنة 1894 درس بيركيلاند Birkeland الخزانات التركيبية المكونة من مسحوق الحديد الغارق في البارافين ، وهي خزانات تذكرنا بمستخرجات الحديد الحديثة (فريت) .

وكل هذه الأعمال قد جرت بموجات قصيرة جداً واشتغل هرتز سنة 1888 على موجة طولها 66 سنتيمتراً بعد أن كان بدأ تجاربه على موجة طولها ثلاثة أمتار . ودرس ريفي Righi الموجات ذات الأطوال المتراوحة بين 10 سنتيمترات و 3 سنتيمترات والمستعملة اليوم من أجل الرادار . ونشر سنة 1897 كتاباً بعنوان « أوتيكادالا أومياريوني التريشا » وكان هذا الكتاب أول بحث في بصريات التواتر العالي . وأجرى ج . ش . بوز Bose في كلكوتا تجارب على موجة طولها 5 مليمتر .

وهذه الموجات المحدثة بواسطة طرق متأرجح مزود بمفجر بشكل سلاسل من الموجات الملطفة ، لم تكن تتمتع بكفاية من القوة ولا بليونة في الاستعمال ، حتى تستخدم في التلغرافيا أو الاتصال اللامسلكي . وكانت أعمال هؤلاء الطليعيين ذات امتدادات مباشرة في العقود اللاحقة . من ذلك أن آ . نيكولس وج . تير Tear نجحاً سنة 1923 في احدث اشعاع طول موجته 0,22



علم . وفي السنة التالية توصل آ . غلاغولوا - اركاديا Glagolewa-Arkadiewa إلى الموجة ذات الطول البالغ 28 ميكرون وذلك حين أحدث موجات كهربائية في الزيت اللزج المحتوي على حثالة النحاس . ولدراسة هذه الموجات استخدم نيكولس وتير جهازاً مستوحى من البصريات ؛ وبصورة خاصة وضعاً مقياساً لقياس تواترها .

وبين السنتين 1900 و1935 جرت هذه الدراسات على هامش التيار الكبير الذي أصاب تطور الكهرباء الاشعاعية . وفي سنة 1935 فقط استعادت التواترات العالية أهميتها وذلك باكتشاف أطواق جديدة ، ومرشدات الموجات ، وأنابيب مولدة خاصة .

مرشدات الموجات - إن اكتشاف خصائص مرشدات الموجات له جذور في أواخر القرن التاسع عشر . ولكي يحتمي المجربون من الاشعاعات غير المرغوب فيها وضعوا المفجر الذي كانوا يستخدمونه كمصدر ضمن أنبوب معدني فارغ : ولم يكن من العجيب أن تنتشر فيه الموجات الكهربائية الاشعاعية كما ينتشر الضوء . إلا أن لودج Lodge لاحظ وجود خصوصيات انتشارية قدم لورد رايلي تفسيراً موجزاً لها سنة 1897 . ورغم أن مسألة انتشار الموجات داخل الأنابيب قد لفتت انتباه العلماء المشهورين أمثال ج . ج . طومسون ولارمور ودروود ، كان لا بد من انتظار سنة 1936 حتى يقدم ج . كارسون وس . ميد Meade ومس . شلكونوف Schelkunoff وج . ساوثرث نظرية كاملة عن مرشدات الموجات المعدنية المصنوعة من المعدن الفارغ ، وعن المرشدات المؤلفة من اسطوانات عازلة . وفي ذات السنة بين ل . بريلوين بأن الانتشار داخل المرشدات ذات القطع المستطيل يمكن أن يفسر بتداخل الموجات المسطحة التي تنعكس على الجوانب .

وتتطلب هذه العملية أن تكون الواجهة المتقابلة التي بينها تتم الانعكاسات المتتالية وفقاً للأساليب البسيطة ، مفصولة بأكثر من نصف طول موجة . إن التواتر المستعمل يجب أن يكون أعلى من بعض « التواتر القطعي » الذي يسقط ضمن مدرج التواترات العالية بالنسبة إلى مرشدات ذات أبعاد اعتراضية من عيار بعض السنتيمترات أو المليمترات . إن أساليب الانتشار داخل المرشدات الفارغة يمكن أن توصف من خلال تراكم الموجات المسطحة المائلة بالنسبة إلى محور المرشد : وينتج عن ذلك الوجود الدائم لمكون لحقل كهربائي أو مغناطيسي باتجاه الانتشار . وبالعكس إن الموجات التي تنتشر عادة فوق الخطوط ذات الموصلين ، تجد حقلاً العمودي باتجاه الانتشار : ونرمز إليها بعبارة « الموجات المعترضة الكهرومغناطيسية » (الموجات TEM) ؛ وهي تنتشر بسرعة الضوء داخل العازل الذي يحيط بالموصلات . وبالعكس من ذلك تسمى الموجات داخل المرشدات الفارغة « معترضات مغناطيسية » (TM) أو معترضات كهربائية (TE) بحسب طبيعتها . ولأنهم كانوا يعرفون الموجات (TEM) لم يستطيعوا فهم سمات مرشدات الموجات في حدود سنة 1900 ودراسة الخطوط الكهربائية كانت متقدمة جداً في ذلك الحين . فقد تم التثبيت من أن الموجات تنتشر فيها بسرعة الضوء في الفراغ أو في العازل الذي يحيط بهذه الخطوط ، مما يميز الموجات (TEM) . إن القاربة بين الانتشار على طول الخطوط والانتشار في الفراغ قد توضحت أيضاً عندما اكتشف هنري بوانكاريه ، إنطلاقاً من معادلات مكسويل ، نظرية الخطوط ، وبصورة خاصة معادلة التلغرافيين اللتين وضعنا سنة 1876 من قبل هيفسايد عندما انطلق من مفاهيم التيار ومن الضغط ومن قوانين كيرشوف . في هذه الأثناء استمر الحال عموماً في استخدام مفاهيم التيار والضغط ؛ ولكن هذه المفاهيم بدت غير كافية في مجال التوتر العالي . إن النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية المرتكزة على معادلات مكسويل وجدت في هذه المعادلات حقلاً جيداً للتطبيق ، في مسائل الأطواق والهوائيات والاشعاع والانحراف . ومكنت هذه النظرية بشكل خاص من دراسة

الأطواق المستعملة داخل الأنابيب من أجل التواتر العالي .

الصمامات الثلاثية (تريود) والكليسترون أو الأنبوب المفرغ لتقوية اللذبذبات الكهرمغناطيسية . بعد أن اكتشفت الخصائص المضخمة التي تميزت بها الأنابيب الالكترونية ، عمل العديد من التقنيين على استخدامها لإحداث موجات قصيرة . وفي سنة 1919 نجح بركهوس و كورز Kurz ، رافعين شبك التريود إلى زخم إيجابي بالنسبة إلى زخم الكاتود ، في الحصول على موجة طولها 43 سنتيمتراً . في هذه الأثناء ثبت بصورة تدريجية أن في التريود عيباً خطيراً تجاه التواترات العالية جداً : فعندما يصبح وقت انتقال الالكترونات بين الكاتود والأنود أو القطب السالب والقطب الموجب ، من عيار مساوٍ لحقبة التموجات الواجب إحداثها يحدث انقطاعات توقف العمل . وهناك طريقتان لمعالجة هذا التوقف . الطريقة الأولى ، ودرسها الروس ديفياتكوف Deviatkov وغوريغيتش Gurevich وخوخلوف Khokhlov منذ سنة 1940 تقوم على صنع تريودات مزودة بالكتروونات مسطحة أو أسطوانية متقاربة جداً : وهذه الطريقة أدت إلى « التريودات المصاييح » التي أتاحت الوصول إلى موجات من طول خمسة سنتيمترات ، والحل الآخر يعود إلى استعمال وقت الانتقال بدلاً من مكافحته : وهذا ما حصل في الكليسترون (وهي الأنابيب المفرغة لتقوية اللذبذبات) ، وقد انجزت هذه سنة 1939 في الولايات المتحدة من قبل الأخوين ر . س . فاريان Varian من جهة ومن قبل و . هاهن Hahn وج . متكلاف Metclaff من جهة أخرى : داخل الكليسترون يستبدل الطوق المتذبذب الحثاث والقوي ، المقرون بالتريود ، بتجويف نحصل عليه بتسكير طرفي جزع مرشد موجات .

في سنة 1839 بين و . هانسن Hansen من جامعة ستانفورد أن التجويف الكهرمغناطيسي يحتوي على شكل خاص بالرجع ، مثل التجاويف المستعملة في نظرية اشعاع الجسم الأسود . والالكترونات التي نجتاز مثل هذا التجويف تسرع أو تكبح بفعل الحقل الكهربائي ذي التواتر العالي : فيقال أن الالكترونات تلتقي فيها ضيقاً للسرعة . وتذكر الالكترونات المبرعة على هذا الشكل الالكترونات البطيئة فتشكل جميعاً رزم الكترونات : وهذه الرزم يمكن أن تعطي عن طريق الحث طاقة كهرمغناطيسية ذات تجويف ثانٍ . وإذا كان التيار الالكتروني مرتفعاً بدرجة كافية ، فإن الطاقة الحاصلة في التجويف الثاني تكون أعلى من الطاقة المبدولة في التجويف الأول ، وعندها يعمل الجهاز كمضخم : وقد وصف مبدأ هذا نظرياً من قبل الأخوين آوو . هيل Heil في ألمانيا منذ 1935 أما مفهوم ضبط سرعة الالكترونات فقد درس سنة 1930 من قبل مولير Moller وسنة 1933 من قبل آ . كلافييه Clavier .

ولتحويل الكليسترون المضخم إلى مولد للذبذبات يتوجب كما هو الحال بالنسبة إلى التريود ادخال « تفاعل » ، أي تسريب جزء كاف من الطاقة المحدثة داخل تجويف الخروج ، إلى تجويف الدخول . ويمكن أيضاً استخدام تجويف واحد نممر فيه مرة ثانية الالكترونات بإجبارها على الرجوع أمام الكتروود محمل بزخم سلبى بالنسبة إلى الكاتود : ونحصل عندها على الكليسترون العاكس الذي طور في بريطانيا سنة 1940 تحت إشراف سوتون Sutton . وكان تشغيل الكليسترون العاكس سهلاً فأصبح المصدر الأكثر شيوعاً لإنتاج الطاقات الصغيرة ذات التواترات العالية .

الانابيب ذات الموجة المتصاعدة - في أواخر الحرب العالمية الثانية ظهر جهاز آخر يتيح تحويل الطاقة الحركية في ضمة من الالكترونات إلى طاقة كهرومغناطيسية ، إنه الأنبوب ذو الموجة المتصاعدة . ويقوم مبدؤه على الحصول على تبادل مستمر في الطاقة بين الالكترونات وحقل مغناطيسي كهربائي فتنقل بانتظام . وذكر هذا الجهاز في براءات الاختراع التي سجلها كل من آ . هاف Haeff سنة 1933 ودي كلافه Clavier وروستاش Rostas سنة 1937 ونفذ بعد سنة 1943 من قبل ر . كوفنير Kompfner الذي حقق أول أنبوب ذي موجة متصاعدة . وضع نظرية هذا الأنبوب سنة 1947 ج . ر . بيرس Pierce في الولايات المتحدة ، وبصورة مستقلة من قبل ج . بيرنيه Bernier وب . لابوستول Lapostolle في فرنسا ، لقد كانت شروط التزامن صعبة التحصيل . ففي الهواء تنتشر الذبذبات الكهرومغناطيسية بسرعة الضوء ، وفي المرشحات ذات الجوانب الملساء تكون سرعتها المرحلية فوق c : وهي تبلغ ، في الانابيب المألوفة ، من عيار $c/10$ حتى c . وقد حلت الصعوبة عموماً بترشيد الموجات بخط لولبي : وعلى طول هذا اللولب ، تكون السرعة قريبة من c ولكنها إذا نظر إليها من المحور ، تبدو أدنى من ذلك بكثير . وعندما يستقر التوافق ، فمطلق الكترون يمكن أن يكبح من قبل حقل معيق ، على طول مساره : هذا الالكترون يعطي للحقل طاقة حركية . صحيح أن هناك أيضاً الكترونات مُسرَّعة ؛ ولكن عمليات التسريع والكبح تنتهي إلى تجميع الالكترونات ضمن رزم تتشكل في مناطق حيث تكبحها موجة تلتقط الطاقة ، وسطياً . إن الميزة الأساسية في الأنبوب ذي الموجة المتصاعدة ، هي قابليته لتضخيم الموجات فوق شريط عرض من التواترات .

وككل مضخم يمكن تحويل انبوب الموجة المتصاعدة إلى مؤرجح بنزويده « بتفاعل إيجابي » يُعطى له وفقاً لطريقة خاصة . وباستعمال خيط تكون ، على طول ، سرعة المجموعة ، وبالتالي اتجاه انتشار الطاقة ، باتجاه معاكس لسرعة المرحلة ، نحقق « مؤرجحاً ذا موجة معاكسة » : وقدم مبدأها ر . كوفنير Kompfner سنة 1952 ، إلا أن الفرنسي ب . إيستين (B. Epsztain) كان قد سبق وصنع مثل هذا الأنبوب تحت اسم « كارسينوترون (Carcinotron) » . والواقعة ، الغريبة نوعاً ما لأول وهلة أن الطاقة والمرحلة تنتشران باتجاه معاكس ، يميّز بعض الخطوط ذات البنية الدورية : إن ل . بريلوين حين درس عموماً انتشار الموجات في أوساط دورية (الشبكات البلورية ، الدارات الدورية ، المصافي الكهربائية) قد بين أن الخصوصيات المتعددة تفسر بدورية الوسط وهي مستقلة عن طبيعة الموجات .

وقد افترضنا بصورة ضمنية أن الالكترونات تتحرك داخل فضاء متعادل الزخم من الناحية الكهربائية الثبوتية . ومع ذلك توجد عائلة أخرى من الانابيب تكون فيها الالكترونات - في حال غياب أي حقل ذي تواتر عال - موجهة بحقل كهربائي ثبوتي وبحقل مغناطيسي متعامدين فيما بينهما ، وكذلك فيما يخص حركة الالكترونات ، بحيث توازن القوتان الكهربائية والمغناطيسية . وتحت تأثير الحقل الكهربائي - المغناطيسي المتزامن ، تحتفظ الالكترونات بطاقتها الحركية ، وهي تنزلق نحو المناطق ذات الزخم الكهربائي القوي : وعندها تحول الطاقة الكامنة في الالكترونات إلى طاقة كهربائية مغناطيسية ، ونستطيع القول أن هذه العملية ذات متتوج طاووي جيد

جداً . إن أسرة « الأنابيب ذات الحقول المتعامدة » المتضمنة مضخمات ذات موجة تصاعدية والمحتوية على كارسيترونات (هزازات الموجة المرتدة) قد درست بشكل خاص من قبل المجموعة الفرنسية التابعة لغينارد Guénard ودوهرل Dohler . وكان المغنطرون (أنبوب فراغي مولد للتيارات ذات التواتر العالي جداً) قد اكتشف قبل ذلك بكثير ولكنه دخل ضمن الدراسة .

المغنطرون (أو الأنبوب الفراغي المولد للتواتر العالي جداً) - إن منشأ المغنطرون قديم : فهو يعود إلى ثنائي القطبين (ديود) الذي حققه هول Hull سنة 1921 . وفيه يدخل التيار بين الكاثود الاسطواني والأنود الثنائي المحور ، وهو محكوم بحقل مغناطيسي قابل للتنظيم وموازي للمحور . وتحت تأثير الحقل المغناطيسي ، تتبع الإلكترونات مساراً مقعراً بدلاً من أن تتجه بخط مستقيم نحو الأنود . فإذا كان الحقل قوياً كفاية ، فإن أي إلكترون لا يصل إلى الأنود ، وعندها تتكون غيمة الكترونية تدور حول الكاثود . وفي سنة 1924 حصل التشيكي آ . زارك Zarek على ذبذبات بواسطة ديود هول ؛ واكتشف هابان Haban نموذجاً آخر من الذبذبات في مغنطرون كان انوده مشقوقاً إلى قسمين . وقد تم التخلي عن هذه الاساليب ، ويستعمل اليوم « المغنطرون ذو الموجة المتصاعدة » ، الذي فُسر مبدؤه من قبل ك . بوستوموس Posthumus سنة 1935 .

ويشكل الأنود ذو الشقوق المتعددة خطأً دورياً منفلقاً على ذاته وقادراً على توجيه موجة كهرمغناطيسية تتزامن مع الموجة الالكترونية التي تدور حول الكاثود . ووجد هذا الأنبوب شكله النهائي بعد استحداث جيوب مرجعة في شقوق الأنود ، وهي فكرة وصفها الأميركي آ . سامويل Samuel سنة 1936 واستغلها الانكليزيان بوت Boot ورنال Randal سنة 1939 والروسيان ن . الكسيريف Alekserev ود . ماليروف Malearov سنة 1940 . إن نظرية المغنطرون ذي الجيوب المتعددة صعبة للغاية : وقد وضعها ل . بريلوين وو . بوتيمان Buneman ود . هارتي Hartee وج . سلاتر Slater وي . ستونر Stoner وأصبح هذا الأنبوب المصدر العملي للقوى الشديدة ذات الدفع المختصر ووجد تطبيقه الرئيسي في بالئات الرادار .

اختراع الرادار - رغم أن اختراع الرادار يرتبط بتاريخ التقنيات فإن تطويره لا ينفصل عن تطور التواترات العالية جداً التي حفزت دراسته .

في المنطلق لم ترتبط فكرة الرادار ، الذي سمي بهذا الاسم نقلاً عن الحروف الأولى من الكلمات الإنكليزية في العبارة التالية : « Radio detection and ranging » باستخدام التواترات العالية . فمنذ بداية القرن العشرين وجدت صيغة مبدأ التقاط الأشياء بواسطة الموجات الهرتزية . ولكن حالة التقنية في تلك الحقبة لم تكن تعطي أي حظاً للنجاح . وفي حوالي سنة 1928 فقط أمكن الحصول على مرسلات قوية وعلى لاقطات حساسة بما فيه الكفاية ضمن سلسلة الموجات القصيرة ، وفي تلك الحقبة يمكن تثبيت بدايات الالتقاط الكهرومغناطيسي في فرنسا وفي بريطانيا وفي ألمانيا والولايات المتحدة الأميركية . في فرنسا مثلاً اقترح ب . دايفيد استخدام التداخل بين الموجة المعكوسة على شيء ما متحرك كالطيارة مثلاً ، والموجة المرسله مباشرة إلى اللاقط . والموجة المعكوسة المثقلة « بمفعول دوپلر فيزو » « Doppler-Fizeau » تعطي نبضة مع الموجة المباشرة . واثبت التجارب الجارية بخلال السنوات التالية على موجات عشرية الامتار ومستمرة

هذه الاراء التي طبقت في تحقيق « الحواجز الكهرمغناطيسية » الفرنسية قبل سنة 1940 .

إلا أن الطريقة الأكثر استعمالاً في الرادار تقوم على رصد انعكاس الموجات القصيرة جداً والمبشوة بشكل نبضات ، وفقاً لتقنية بریت Breit وتوف Turve من أجل سبر الفضاءات العليا (يونومفير) . واستخدمت هذه الطريقة سنة 1936 على السفينة الفرنسية النورمندي ، حيث بنى م. بونتي Ponte وه. غوتون Gutton « لاقطاً للحواجز » مجهزاً بمغنترون بشكل « قصص السنجاب » وهو السابق على المغنترون ذي الجيوب . إلا أن هذه التقنية قد دُرست بشكل خاص في بريطانيا ، حيث قامت أبحاث سرية منذ سنة 1930 حول استكشاف التيارات ، ونسق فيما بينها روبرت واتسون - واط ، فأتاحت صنع جهاز للإنذار مضاد للطيران منذ سنة 1939 : ولعبت سلسلة « الرادار » المراقبة هذه دوراً أساسياً في معركة بريطانيا سنة 1940 .

وأتاحت الموجات السنتيمترية بفضل طوعية توجيهها تحديداً أدقّ للحواجز والمواقع . وأُمن استخدام هذه الموجات تفوق الرادارات الحليفة على التجهيزات الالمانية التي استخدمت موجات أطول حتى نهاية الحرب . كما كرست جهود ضخمة لدراسة هذه الرادارات خاصة في الولايات المتحدة الاميركية . ويمكن أن نحكم على أهمية البحوث التي جرت يومئذ بفضل الثمانية والعشرين مجلداً المخصصة لدراسة خلاصة حضرت من سنة 1924 حتى سنة 1948 من قبل المجموعة المسماة « مجموعة معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا » Massachusetts Institute of Technology . وبفضل قوة ودقة التجهيزات التي توفرت للجيش الاميركي ، استطاع هذا الجيش في سنة 1946 التقاط اصداء رادارية فوق القمر مما طبع بداية علم الفلك الراداري . في هذا التاريخ قامت التواترات العالية بخدمة عسكرية باهرة قبل أن تنقلب نحو التطبيقات المدنية مثل : رادارات الملاحة الجوية ، والاشعة الهرتزية والمطيافية الهرتزية .

الحزمات الهرتزية - وهناك تطبيق تقني آخر مهم للتواترات العالية ، تطور منذ الحرب العالمية الأخيرة : النقل عن طريق الحزمات الهرتزية مشات الطرق التلفونية أو العديد من الطرق التلفزيونية .

إن الاتصال كالي - دوفر Calais-Douvre على الموجة 17 سم والذي أجريت تجربته من قبل كلايف Clavier سنة 1930 هو من أوائل التجارب . وللحصول على بث موجة ، لابد من وجود هوائي تكون احجامه العديد من الموجات الطويلة . بالنسبة إلى الموجات الديكامتري المستخدمة في الاتصالات التلفونية الاشعاعية بين القارات ، التوجيهية ضعيفة حتى مع هوائيات تبلغ مساحتها حدود الهكتار . أما في الموجات السنتيمترية فإن هذا الشرط يتحقق بسهولة بواسطة هوائيات ذات اتساع بسيط : فالقِمَع والعاكسات القطعية المكافئة التي استخدمها الطليعيون في القرن التاسع عشر كانت هي الأكثر انتشاراً . واستخدموا أيضاً عُدسات مكونة أحياناً من شبكات دورية من الفضة أو الصفائح المثقبة ، وكلها تشكل عازلات اصطناعية وبواسطة هذه الوسائل تم الحصول على حزم كهرمغناطيسية متناهية الدقة لعبت دور الكابلات (الخطوط) غير المادية ممدودة بين محطات التوصيل . وبفضل توجيهيتها أتاحت الموجات السنتيمترية تغطية القارات بموصلات هرتزية يقابل بعضها بعضاً بشكل مباشر .

وبدت الموجات الدسيمترية متروكة لأنها ذات موجة طويلة لا تسعف في التوجيه وذات تواتر عالٍ جداً يصعب عكسها بواسطة طبقة الفضاء الخارجي (يونوسفير) . ولحسن الحظ لعب الفضاء الأرضي دوراً في انتشارها . وقد لوحظ بخلاف الحرب وجود أماد غير طبيعية للبث الراداري ، وعزيت إلى تكون « مجار » في الفضاء حيث تنعكس الموجات بين طبقات ذات مؤشرات انكسارية مختلفة . وبين هذا الحدث المقرون بنتائج المحاولات التي جرت قبل وبعد الحرب أن عملية جديدة ، هي الانتشار ضمن الطبقة المحيطة في الأرض (5 كلم فوق سطح الأرض : تروبووسفير) أكثر فعالية من الانكسار حول الأرض ، تزيد مدى البث بموجات مترية أو دسيمترية . في سنة 1905 قام هـ . بوكـر Booker وو . غوردون Gordon ، وكذلك ميغاو Megaw بتفسير هذا النمط من الانتشار عن طريق انكسار الموجات فوق الاعوجاجات المثانية من اضطرابات الفضاء . وبعد ذلك بعدة سنوات اقترح ف . كاستل Castel وفوج Vogt وميسم Misme نظرية مرتكزة على الانعكاسات الجزئية التي تحدثها طبقات فضائية حقيقية ذات مؤشرات مختلفة ، وهي نظرية تنسجم مع التدابير التي اتخذها هؤلاء في فرنسا وفي أفريقيا ، وتولدت عن هذه الدراسات طبقة جديدة من الرزم الهرتزية ذات المدى الأبعد من الافق ، والمتكيفة بشكل خاص مع احتياجات البلدان السائرة في طريق النمو . إن النجاح الذي تحقّق سنة 1961 في تجارب الاتصال بين أميركا وفرنسا وإنكلترا عن طريق انعكاس الموجات على القمر الصناعي « إيكو واحد أو الصدى » قد فتح الطريق أمام وضع شبكة عالمية للاتصالات عبر الأقمار الصناعية .

كان إيكو واحد بالوناً قطره ثلاثون متراً من مادة بلاستيكية مطعّمة بالمعدن وكان عاكساً حيداً ، لعب بالنسبة إلى بث التواترات العالية الدور الذي يلعبه الفضاء بالنسبة إلى الموجات الديكامترية وكانت التجربة ناجحة ، رغم أن الإشارة الملتقطة كانت ضعيفة للغاية ، وتجددت التجربة سنة 1936 إنما بشكل محسن .

وكانت تجربة التلستار أكثر جرأة وأكثر شهرة حيث أُنشأت النقاط - في فرنسا لأول مرة ، في 11 تموز 1962 - بثاً من التلفزيون الأميركي . واقتضى الأمر وضع محطة حقيقية توصل الرزمة الهرتزية ، فوق القمر الصناعي ؛ وتغذى هذه المحطة بالطاقة من خلال 3600 خلية شمسية ، وقد رسم التلستار الذي كانت حقبة دورانه 157 دقيقة مداراً ببيضاوياً وكان ارتفاع سمته 5500 كلم ، أما ارتفاع أقرب نقطة في مداره إلى الأرض فكان 900 كلم . وكان هذا المدار يتيح الحصول على أربع حقبة يومية للرؤية المتبادلة بين المحطة الأميركية في اندوفر Andover (في ولاية مين الأميركية) من جهة ، والمحطة الفرنسية بلومور - بودو Pleumeur-Bodou في بريتاني ، والمحطة الإنكليزية غونهيلى Goonhilly من جهة أخرى . وكل من هذه الحقبة كانت تدوم من 15 إلى 25 دقيقة . كانت المحطة الفرنسية بلومور - بودو مصممة وفقاً لنموذج محطة اندوفر وكانت مجهزة بهوائي كبير وبيروق وبعاكس قطعي مكافئ (بارابولي) ، وكانت المحطة محمية بقبة قطرها 64 م . هذا الهوائي الثقيل يجب أن يوجه رأسه نحو القمر الصناعي بدقة تعادل 3/100 من الدرجة مما يوجب آلة حاسبة لتحضير جداول التصويب . وقد مكنت هذه التجهيزات من التقاط إشارات التلفزيون التي بثها محطة اندوفر منذ أول مرور للرؤية المتبادلة بين فرنسا والولايات المتحدة . وتم

الحصول على نجاحات مماثلة بعد ذلك بقليل من قبل التقنيين الانكليز . واتخذت تدابير طبقت على هذه القناة الجديدة للنقل واستمرت منذ كانون الأول سنة 1962 بواسطة القمر الصناعي رلاي Relay ، واقتضى نظام الاتصال الدائم عبر الاطلسي وجود من ثلاثين إلى خمسين قمراً صناعياً تدور بأن واحد في ذات المدار .

وهناك مشاريع أكثر طموحاً ما تزال قيد الاعداد بواسطة القمر الصناعي سانكوم Syncom رقم واحد الذي أطلق سنة 1963 . ودار باتجاه دوران الارض ومدته 24 ساعة بحيث يبدو وكأنه واقف جامد بالنسبة إلى المشاهدين الارضيين . و « تزامن » القمر الصناعي ، والذي لا يمكن تحقيقه إلا على ارتفاع 36 ألف كلم ، يتيح إقامة اتصال دائم ، لخدمة منطقة باتساع سطح الارض . ثم وُضعت خطط لاستخدام مثل هذا القمر الصناعي من أجل بث الموجات الصوتية أو المتلفزة يلتقطها الجمهور مباشرة .

نذكر أيضاً النجاح في النقل المؤجل لرسالة حفظت في الذاكرة بفضل قمر صناعي (سكور ، 1958) والمشروع الاميركي « وستفورد Westford » الذي يقوم على إقامة حزام حول الأرض ، عاكس ومكون من إبر صغيرة من النحاس الدقيق جداً يرسله قمر صناعي بحيث إذا جمعت هذه الإبر بشكل حلقة قطرها 30 كلم ، تؤمن بث موجات بين محطتين ارضيتين . وقامت أول تجربة حققت انطلاقة من القمر الصناعي ميداس IV في تشرين الأول سنة 1961 وكانت غير ناجحة . وتمت محاولة أخرى سنة 1963 بعد تعديل في نظام توزيع الإبر .

إن النجاحات التي تحققت تدل على أننا قد دخلنا عصر الاتصالات بواسطة الأقمار الصناعية ولكن العديد من التجارب ما يزال واجب الاداء لمواجهة الحلول المطروحة والمختلفة .

V - الإبصار الالكتروني وتطبيقاته

إن استعمال الالكترونات في الابصار لم يتح فقط أحداث وتضخيم والتحكم في ، والتقاط الموجات الكهربائية اللاسلكية ؛ بل أن العديد من مجالات العلم والتقنية قد استفاد من الاجهزة المرتكزة على استخدام الالكترونات بشكل ريشات رفيعة ، وفقاً لمناهج الابصار الالكتروني .

مكتشف الذبذبة الكاثودي - منذ سنة 1898 اقترح ف . براون استخدام الانحراف الكهربائي والمغناطيسي في الاشعة الكاثودية لدراسة التيارات ذات التواتر العالي . وجهاز ذو الالكترونات المستحدثة من مصدري بث ثانوي تأتي لتضرب جانب الحبابة الزجاجية ، حيث تحدث بقعة خضراء ، كان جهازاً بدائياً وقد حسنه وهنتل Wehnelt فاستبدل مصدر البث الثانوي بكاثود حار وذلك بإدخال الكثرود يمكن من ضبط زخم الريشة الالكترونية : وهكذا حقق أول « مدفع الكتروني » . وعندما أتاح تقدم المضخمات والمذبذبات الاستخدام الأكمل لجمودية الالكترونات ، جاء مكتشف الذبذبة الكاثودي يكمل مسجلات الذبذبة الذكية الغالغانومترية والتي انجزت حوالي 1900 من قِبَل آ . بلونديل من أجل دراسة الظواهر السريعة وتم تحسينها باستمرار فأتاحت بصرياً رصد التعرجات فوق الخمسين ميغاهرتز أو رصد التدفقات من عيار بعض الأجزاء

من الألف من الميكروثانية ؛ وتم التوصل أيضاً في المختبر إلى بناء مكشافات للذبذبات العالية في حدود عشرة آلاف ميغاهرتز (طول الموجة 3 سم) . واعتبرت الانابيب الكاثودية المطورة بشكل مناسب العناصر المركزية في اللاقطات التلفزيونية وفي المؤثرات الرادارية .

زوريكين Zvorykin واختراع أنابيب التلفزيون - في نقل الصور من بعيد لعب الإلكترون نفس الدور كما في دراسة الظواهر السريعة . إن فكرة النقل الكهربائي للصور قديمة جداً . فمذ سنة 1851 قدم المخترعون أجهزة سُميت « تيلي أوتوغراف » [تيلي : عن بعد ؛ أوتو : ذاتي ؛ غراف : أداة تسجيل ، يساوي التسجيل من بعيد] وذلك لنقل الرسالة المكتوبة نقلاً مباشراً .

وعندما اكتشف أنبوب الأشعة الكاثودية ، والخلية الكهروضوئية ، جرى البحث في استخدامهما لنقل الصور . فاستخدم الأنبوب الكاثودي ليحول إلى الالتقاط الإشارة الكهربائية الصورية ، واقترح ذلك بوريس روزن Rosing سنة 1907 . وكانت المسألة المعاكسة أكثر صعوبة : فالخلية الكهروضوئية التي عليها يسقط مجمل الصورة لا تعطي إلا تياراً مستمراً مرهوناً بالإضاءة الوسطى . وكان لا بد من تحليل نقطة نقطة : وهذا ما تحقق في بادئ الأمر بوضع - أمام الخلية - محلاً ميكانيكياً هو قرص نيكو Nipkow .

في هذه الأثناء ومنذ 1908 اقترح آ . كامبل Campbell وآ . سويتن Swinton جهازاً لاكتشاف الصورة بحزمة من الإلكترونات وهذا الأمر لم يتحقق بشكل مرضٍ إلا في سنة 1933 في ايكونوسكوب ف . ك . زوريكين [ايكونوسكوب : آلة تصوير في التلفزة أو محلل للصورة] .

وبدأ زوريكين دراسة طريقة تلفزيونية الكترونية سنة 1910 تحت إدارة ب . روزن في معهد التكنولوجيا في سان بطرسبورغ ووصل زوريكين إلى الولايات المتحدة سنة 1919 وفي سنة 1923 قدم جهازاً تلفزيونياً إلكترونياً خالصاً . وبعد 1930 وفي مختبرات شركة ر . س . آ . R.C.A. وضع المحلل وقدمه سنة 1932 وأدت البحوث المستكملة في بريطانيا من قبل شركة E.M.I بعد ذلك بقليل إلى تحقيق أنبوب يلتقط المشاهد ومبدأ عمله مختلف قليلاً : واسم الأنبوب هو إيميترون . في هذه الأنابيب تحدث الصورة فوق « فسيفساء » مكونة من مئات الألوف من الحبيبات المنفصلة بعضها عن بعض ، فتشكل بالتالي عدداً من الخلايا الكهروضوئية الأولية .

وتستكشف ريشة الكترونية على التوالي كل نقطة في الفسيفساء وتعطي إشارة كهربائية تستخدم لنقل الصورة . ويشكل البث الثانوي للفسيفساء في الايكونوسكوب أو المحلل عائناً : ومن أجل التخلص من هذا العائق وضع م . روز Rose وم . يامس (1939) الاورتيكون حيث يتم المسح بواسطة الكترونات بطيئة .

فكر ف . ك . زوريكين بشكل خاص بوسيلة لزيادة مدى الرؤية البشرية ، في سنة 1934 عرف الايكونوسكوب « بأنه نسخة حديثة من العين الكهربائية » واقترح وضع جهاز رؤية فوق صاروخ من أجل الذهاب لمشاهدة المناطق التي لا يمكن الوصول إليها .

وبوسيلة مماثلة نجح العلماء السوفييات سنة 1961 في تصوير الوجه المغطى من القمر . وبدل

هذا التطبيق العملي ، كما تدل إعادة نقل العمليات الجراحية ، على أهمية التلفزيون كوسيلة بحث علمي .

مكرر الصور والمضخمات البراقة - إن عمل الخلايا ذات التكثير الالكتروني يستند على سعة موجودة في بعض المواد وهي بث العديد من الالكترونات الثانوية ، تحت ضغط الكترون واحد أولي مسرّع بتأثير من عدة مئات من الفولتات [القولت هو وحدة القوة المحركة الكهربائية] . إن نحن اسقطنا الالكترونات الحاصلة على هذا الشكل على هدف جديد ذي بث ثانوي ، نحصل على تكثير جديد . وتحقيق خلية ذات عدة طبقات يقتضي توجيهاً دقيقاً للالكترونات بين هدف وآخر .

هذا ما حققه كل من زوريكين وهـ . مورتون ول . مالتز بواسطة حقلين كهربائي ومغناطيسي متقاطعين داخل أنبوب وصفوه سنة 1936 . في سنة 1939 قدم زوريكين وج . رايشمان Rajchman « مكثراً كهربائياً ثبوتياً للالكترونات » يعطي تضخيماً للتيار المبعوث من قبل آلة تصوير كاتودية . وفي الوقت الحاضر أمكن التوصيل إلى مضاعفة التيار الحاصل بمفعول التصوير الكهربائي إلى أكثر من عشرة ملايين ، مما أتاح صنع لاقطات ضوئية حساسة جداً بواسطة مضاعف الصور .

وفي مضاعفات الصور تكون الاشارة الخارجية إشارة كهربائية وبالعكس من ذلك تنقل المضخمات ذات الاشراق الضوء وتعطي صورة ضوئية . في الأنبوب الأول الذي وضعه هـ . هولست Holst سنة 1934 يتم وضع الصورة الضوئية على فوتو كاتود أي صورة سلبية ؛ والالكترونات المبعثة تضرب ستارة مشعة ، بعد تسريع الالكترونات عن طريق الكهرباء الثابتة ؛ ضمن هذه الشروط تحدث الالكترونات في الستارة صورة ضوئية أكثر بريقاً من الصور المستقبلية . وقد حسن زوريكين ومورتون وأ . ر . رامبرغ Ramberg سنة 1936 بشكل كبير هذا الجهاز بأن ادخلوا عليه «إبصاراً الكترونياً» حقاً أتاح أحداث صورة لكل نقطة في الصورة الكاثودية فوق الستارة أو الشاشة . وأتاح تجهيزات مماثلة أدخلت إلى داخل أنابيب الرؤية التلفزيونية ، تحويل الايكونوسكوب والاورتيكون إلى أنابيب أكثر حساسية هي السوبر ايكونوسكوب (الصورة الايكونوسكوبية) ، وسوبر - اورتيكون (الصورة الاورتيكونية) .

وأدخلت تعديلات كبيرة على المضخمات الاشراقية تحت اسم « القلابات » تحت الحمراء ، وذلك لتحويل صورة تحدثها الأشعة تحت الحمراء إلى صورة مرئية . وتتيح هذه القلابات بالتالي اكتشاف أشياء ترسل أشعة تحت حمراء ورصد الأشياء المضادة بمصباح ذي أشعة تحت حمراء ، في الليل أو في حالات الضباب . إن المضخمات البراقة استخدمت أيضاً منذ 1950 ، إضافة إلى استعمالها العسكرية ، في فحص الصور الراديو سكوبية [أي المفحوصة بأشعة أكس] .

وأخيراً يمكن إقران المضخمات البراقة بالتلسكوب Telescope . في هذا الجهاز لا تكون الصورة النهائية حاصلة فوق شاشة مشعة ؛ فالالكترونات المبعثة بالمفعول الكهروضوئي تطبع صفيحة فوتوغرافية خاصة ، وفقاً لاسلوب فوتوغرافي الكتروني دوسه أ . لاليمان Lallemand منذ

سنة 1936 . ويشكل هذا الجهاز المتطور باستمرار ، اللاقط المثالي للفوتونات تقريباً ؛ فإذا قورن بأدوات الرصد الفلكية مثل التلسكوب والناظور والمطياف ، أتاح تحقيق مكسب يفوق مئة في المئة الطرق الفوتوغرافية الكلاسيكية .

أنابيب التذكير - إن الأنابيب السابقة تشكل جزءاً من العائلة الكبيرة عائلة الأنابيب ذات الصور : فالبعض منها يتلقى الصورة الضوئية ويعطي صورة ضوئية ، مثل مضخمات الاشراق ؛ وأخرى مثل الأنابيب الكاشفة للذبذبة (اوسيكوب) تترجم إشارة كهربائية إلى صورة ضوئية ؛ وأخيراً هناك أنابيب تحول الصورة الضوئية إلى إشارة كهربائية مثل أنابيب التقاط الصور التلفزيونية . وهناك نمطاً رابع يتلقى الإشارة الكهربائية فيعطي إشارة كهربائية أخرى : وفي هذه الحالة لا توجد الصورة إلا بشكل توزيع للشحنات الكهربائية فوق شاشة .

إن هذه الأنابيب مفيدة عندما تكون الشاشة مزودة بذاكرة مما يتيح حفظ الاشارة الكهربائية المستقبلية لفترة من الوقت . ولهذا تتكون الشاشة من عدد كبير من الخلايا الاولى التي تشكل فيفساء الايكونوسكوب أو محلل الصور : وكل خلية تشكل مكثفاً اولياً تكون شحنته تابعة للإشارة الكهربائية التي يجب حفظها بالذاكرة . إن أمثال هذه الأنابيب التي طرحها وحققها في سنة 1947 آ . هايه Haeff من جهة وآ . جانسين Jensen وج . سميث Smith وم . مسنر Mesner ، ول . فلوري Flory من جهة أخرى ، تقبل التطبيق في الحاسبات الالكترونية . وقد تم أيضاً إدخال ذاكرة كهربائية ثبوتية في أنابيب كاشفات الذبذبة واللاقطات الرادارية . ويتضمن راصد الصور في مبدئه بالذات ذاكرة : وهذا ما يعطيه حساسية كبيرة تفوق حساسية أي أنبوب آخر للرؤية ، اخترعه فرانسويرث Fransworth سنة 1934 .

تطور الابصار الالكتروني - لقد استعملنا عبارة « ابصار الكتروني » في مضخمات الإشراق للدلالة على جهاز يجمع في بؤرة أو في نقطة من الشاشة الالكترونيات المباشرة بفضل نفس النقطة من الكاثود وبالتالي يحقق تطابقاً بين صورة وشيء كما هو الحال في الابصار الضوئي .

إن المسارات الالكترونية قد تحصل بواسطة معادلات في الميكانيك الكلاسيكي مطبقاً على الالكترونيات من قبل ج . ج . طومسون منذ سنة 1881 . إن التشابه بين ديناميك أي حركة النقطة المادية والابصار الجيومتري ، الملحوظ من قبل هاملتون سنة 1827 بارزاً وواضح ، بشكل خاص بالنسبة إلى حركة الالكترونيات في الكهرباء الثابتة حيث يكون الزخم الكهربائي معادلاً لمربع إشارة الانكسار . وهذه المماثلة التي لعبت دوراً أساسياً في ولادة الميكانيك التومجي عندل . دي بروغلي L. de Broglie ، استخدمت كدليل من أجل تحقيق تجارب مماثلة لتجارب الابصار الضوئي بواسطة الالكترونيات .

وأول عمل حول العدسات الالكترونية هو عمل هـ . بوش Bush الذي بين في سنة 1926 - 1927 إن مفعول الحقل المغناطيسي الدوراني على مسارات الالكترونيات يشبه مفعول عدسة زجاجية على الاشعة الضوئية . وفي سنة 1931-1932 بين دافيسون Davisson وكاليك Culbick من جهة وبروش Bruche وجوهانسون Johansson من جهة أخرى أنه بالإمكان أيضاً صنع عدسات

الكثرونية بواسطة حقول كهربائية ثابتة . وكانت هذه الدراسات منطلقاً لتطوّر نوعين من العدسات المستعملة خاصة في الميكروسكوب الالكتروني . وتناولت الأعمال اللاحقة صنع ووضع رسيمات متنوعة كما تناولت المسائل المطروحة نتيجة النقص المماثل للنقص الموجود في معدات الابصار الضوئية .

ودراسة العدسات الالكترونية تقتضي معرفة دقيقة لخواص الحقول الكهربائية والمغناطيسية . وهي تطرح مسألة حل معادلة لا بلاس التي شرع بدراستها في القرن التاسع عشر وتبعث في القرن العشرين حيث استفادت من طرق جديدة ، ويتوجب بشكل خاص الإشارة - في الابصار الالكتروني - إلى أهمية طرق المشابهة الكهربائية التي يمكن العثور على فكرتها في عمل قام به كيرشهوف سنة 1845 ، وهي استعمال وعاء تسجيل الدفق ، الذي طبق على مسائل الحقل المغناطيسي والكهرباء الثبوتية سنة 1905 من قبل سموت Smoot والتي طورت في فرنسا بشكل خاص ابتداء من سنة 1931 بتشجيع من ج . بيرس Perès ول . ملافار Malavard ؛ وطبقت على ما يشابهها من شبكات المقاومة بفضل ليمان Liebmann سنة 1950 .

من أهم هذه التطبيقات العملية لهذه الطرق الابصارية الالكترونية دراسة المدافع الالكترونية ذات أنابيب الضغط المرتفع ، والكليسترونات وأنابيب الموجات المتصاعدة . وتقوم المسألة أساساً على تركيز حزمة الكترونية ثقيلة جداً ، ثم جعلها تحتفظ ، على مسار طويل ، بالشكل المطلوب ، الاسطواني مثلاً . وقدم العديد من المؤلفين مساهمتهم في « تبشير جزم الالكترونيات » ، وأهمها مسهمه ج . ر . بيرس J.R. Pierce الذي نشر سنة 1949 كتاباً مهماً بهذا المجال ، ويجدر ذكر الأهمية العملية لهذه المسألة : العديد من التقدم المحقق في انتاج وقضخيم التواترات العالية مرتبط بتقدم الابصار الالكتروني .

الميكروسكوب الالكتروني - الآلة التي بدا فيها التماثل مع الابصار الضوئي هو الأكثر بروزاً ، كانت الميكروسكوب الالكتروني . إن أعمال ل . دي بروغلي L. de Broglie أدت إلى اعطاء الموجات المقرونة بالالكترونات طول موجة يرتبط بسرعتها وفقاً للقانون $\lambda = h/mv$: باعتبار $b =$ ثابتة بلانك ، m الكتلة و v سرعة الالكترونات ؛ وفي حال ضغوطات تسارع تبلغ عشرات الآلاف من الفولتات ، يكون طول الموجة من نفس ضخامة طول أشعة X ، أي ما يقارب مئة ألف مرة أقصر من ضخامة الضوء المرئي . ويتج عن ذلك أن القوة الفاصلة في الميكروسكوب الالكتروني هي أكبر من القوة الفاصلة في الميكروسكوب الابصاري (الفصل 5 من هذا القسم) . في سنة 1931 استعمل م . كنول Knoll وأ . روسكا Ruska عدستهما المغناطيسية للحصول على صور الكترونية مكبرة . وفي سنة 1934 حصل أ . بروش ومعاونوه على نتيجة مماثلة بواسطة عدسات تستخدم الكهرباء الثابتة . وتم وصف أول نموذج من الميكروسكوب الالكتروني السهل الاستخدام عملياً من قبل كنول وروسكا سنة 1932 . وبعد ذلك أدخلت المختبرات الصناعية الجامعية العديد من التحسينات على الحساب وعلى بناء هذه الأجهزة وتشغيلها . وسن بين الباحثين الذين ساهموا بهذه الأعمال نذكر عشوائياً نوعاً ما : و . غلازير Glaser ، و . كلايمير Klemperer ، د . غابور Gabor ، ف . كوسلت Cossetlet ، ونذكر في فرنسا ج . دويوي Dupouy ، ب . غريفيه Grivet

وف . برتين Bertein وش . فرت Fert .

ومنذ سنة 1934 أخذ ل . مارتون Marton باستكمال طرق دراسة الباكتريا والانسجة العضوية بواسطة الميكروسكوب الالكتروني، وفي سنة 1939 استخدمه كل من ج . كوش Kaushe وأ . بفانكوش Pfankuch وأ . روسكا Ruska لدراسة الفيروسات وفي سنة 1940 استطاع م . فون أردين Von Ardenne الحصول على صور مضخمة للخلايا الكبيرة المعزولة مثل خلايا خضاب الدم . وفي سنة 1941 استخدم ر . مهل Mehl الميكروسكوب الالكتروني لدراسة مسائل صلابة الفولاذ ، وحصل على صور تظهر بنية البرليت . ودلت هذه الأعمال على بداية استعمال الميكروسكوب الالكتروني في البيولوجيا وفي كيمياء الخلايا الميكروبية وفي التعدين حيث أصبح ، في هذه المجالات آلة بحث ضرورية .

نشأت الالكترونات والابصار الالكتروني الفيزيائي - إن أول تثبت من نظرية ل . دي بروغلي حول الطبيعة التذبذبية في الالكترون كانت في الاكتشاف العملي لنشأت الالكترونات بفعل البلورات . في سنة 1927 تمكن ك . دافيسون Davisson ول . جرمر Germer من إثبات هذا النشأت في الولايات المتحدة عند درس انعكاس الالكترونات البطيئة بفعل بلورة من النيكل . وفي سنة 1929 حصل ج . ب . طومسون في بريطانيا على خطوط بيانية للنشأت تشبه خطوط أشعة X وذلك بعد أن أنفذ سهما من الالكترونات السريعة في طبقة متعددة التبلور .

وفي الوقت الحاضر يستخدم نشأت الالكترونات بالإضافة إلى نشأت أشعة X في مختبرات فيزياء الجوامد . ومنذ سنة 1949 وضع ر . كاستن Castaing وأ . غينير Guinier جهازاً من خلاله يقوم مسبر الكتروني مكون من سهم من الالكترونات متناهي الدقة باستكشاف حجم من عيار ميكرون مكعب فوق سطح بلورة : وتم الحصول على التحليل الكيميائي والتصوير - البلوري لهذا الحجم الصغير من خلال دراسة نشأت الالكترونات واشعاع X الحاصل . وبشكل نشأت الالكترونات أول مجال تطبيق لما يمكن أن يسمى الابصار الالكتروني الفيزيائي مناقضة لدراسات المدافع ، والعلماء الالكترونية التي تشكل الابصار الالكتروني الجيومتري . وقد درس النشأت بشكل خاص من أجل تطبيقه على فيزياء الجوامد. وحتى السنوات الأخيرة قليلة هي الدراسات المنفذة لتحقيق تجارب أخرى في الابصار الالكتروني الفيزيائي . إلا أن هـ . بورش Boersch كان قد حصل سنة 1940 على هدب فريزل الأولى على أطراف الشاشة بواسطة ضمه من الالكترونات وفي وقت أقرب لاحظ باحثون عديدون ظاهرات تداخل وفي سنة 1952 بين ل . مارتون المكسب الذي يمكن الحصول عليه من قياس التداخل الالكتروني . وقد تم الحصول على المعادل الالكتروني للموشور المزدوج المنسوب إلى فريزل على يد ج . مولنستيد Mollenstedt وهـ . دوكر Duker سنة 1954 . وقام مختبر الابصار الالكتروني التابع للمجلس الوطني للبحث العلمي في تولوز بفرنسا تحت إدارة ج . دويوي وك . فرت بدراسات منهجية حول الابصار الالكتروني الفيزيائي محققاً بشكل خاص تجربة ثيوب يونغ Young ، وهي تجربة كلاسيكية في الابصار الضوئي ، وتجربة موشور فريزل المزدوج . ويكفي التفكير بدور طرق الابصار الفيزيائية في مجال

المجهرية الضوئية (المجهر التداخلي ومجهر تباين الطور) لتخيل كم قدمت هذه الطرق للمجهرية الالكترونية .

التطبيقات العملية للابصار الالكتروني في الفيزياء النووية - استخدمت الفيزياء النووية أيضاً بعض الاجهزة التي تعود إلى الابصار الالكتروني وأشهر هذه الاجهزة هي مسرعات الجزيئات والسيكلوترونات (السيكلوترون جهاز لتحطيم نواة الذرة) والمسرعات الخاصة (بيتاترون) والمنسقات والسانكروترونات (أيضاً مسرعات) والمسرعات الخطية (أنظر الفصل اللاحق) . وتحقيق هذه الاجهزة خلق مشكلتين في الابصار الالكتروني هما : انتاج ضمة من الجزيئات ثم قذفها في المسرع ؛ ثم توجيه هذه الجزيئات في غرفة التسريع . في هذه الغرفة تتحول الطاقة الكهرومغناطيسية في حقل ذي تواتر مرتفع إلى طاقة حركية في الالكترونات أو في الايونات : إنها العملية المعاكسة للعملية الحاصلة في أنابيب التواترات المرتفعة ؛ مما يدل على القرابة بين المسرع الخطي وبين أنبوب الموجة التصاعدية .

وتشكل المطاييف نمطاً آخر من الاجهزة تستخدم الابصار الالكتروني، ويوجد نمطان من هذه الاجهزة : مطاييف الكتلة الذي يتيح فصل الايونات ذات الكتل المختلفة ، والمطاييف التسريعي . وقد حقق استون Aston أول مطاييف كتلي عندما حسن الجهاز الذي ستمله ج . ج . طومسون ليقس علاقة الشحنة بكتلة الالكترونات والايونات . ومن أوائل مقاييس السرعة الطيفية ، المقياس الذي حققه ك . اليس Ellis سنة 1921 لدراسة طيف سرعة الاشعاع β . أما مطاييف الكتلة فهو شائع الاستعمال في الفيزياء النووية وفي التحليل الكيميائي للغازات . وهو يكمل مجموعة الأدوات التي يضعها الابصار الالكتروني بتصرف المحربين العاملين في المجالات المتنوعة .

VI - من البلاسما أو الغازات المؤينة إلى العازلات الكهربائية

أثناء استغلال خصائص الالكترونات في الفراغ كانت نظرية الالكترونات في المادة تسجل تقدماً جديداً . ورغم أن الأوساط الكهربائية المختلفة ، والغازات المؤينة والالكتروليونات (المنحللات بالكهرباء) ، والعازلات الكهربائية والموصلات الجامدة ، قد درست جميعاً ، فمن الضروري من أجل توضيح العرض استعراضها تباعاً .

نظرية الغازات المؤينة - إن الجهد الضخم الذي بذل في حدود سنة 1900 من أجل استكشاف مجمل الاحداث التي تحدث في الغازات المؤينة ، ترك أيضاً الكثير من المجالات غامضة . فخلال العقود التالية تبعت الدراسات من أجل فهم أفضل « لعمليات أساسية في الالكترونيات الغازي » (وهو عنوان لكتاب وضعه ل . ب . لوب Loeb) : التأين ، إعادة الدمج ، تفاعل الايونات ، الالكترونات والجزيئات فيما بينها ومع الجوانب الجامدة التي تحيط بها . وهكذا تمت العودة إلى نظرية الاندماج من جديد بين الايونات الايجابية والسلبية ، وهي نظرية قال بها لانجفين سنة 1903 تكون متفقة مع التجربة حول التفريغات في الضغط العالي ، لا في الضغوط المنخفضة . كما أن هذه النظرية التي تحدت حلودها وتوضحت بفضل تونسن ، قد استكملت سنة 1924 من قبل ج . ج . طومسون الذي بين دور الاضطراب الحراري بالنسبة إلى الجزيئات كعامل

معيق في إعادة الدمج . ان تكون الايونات السلبية بفضل التصاق الكترون بجزيء قد درس من قبل لوب بخلال السنوات التي تلت سنة 1920 . نذكر أيضاً أهمية ظاهرات التكاثر في التآين عن طريق الصدمة : فقد بين تاونسند أن صلعة الكترون بجزيء قد تولد الكتروناتاً أخرى يمكنه أن يؤين جزيئاً آخر وهكذا دواليك . وهذه العملية إذا دمجت استخراجه الالكترونات من المعادن التي تشكل الكترودات (أي أقطاب سلبية وإيجابية) تفسر كيف تستمر التفريغة الكهربائية عندما تلغي العامل المؤين الذي أطلقها : وعندها تصبح مستقلة . إن تعقيد الظاهرات الأساسية داخل شحنة غازية مفرغة يوجب اللجوء إلى نموذج مبسط لبناء نظرية حول الغازات المؤينة . إن فكرة البلازما أو الغازات المؤينة التي أدخلها لانغموير شكلت أساساً لبناء النظرية .

إن النشرات الأولى التي قدمها لانغموير حول التفريغات في الغازات يعود تاريخها إلى سنة 1923 وهي تناول التيار الملتقط بفضل الكترود إضافي يوضع داخل الشحنة المفرغة . وتلت هذه النشرات دراسات تناولت في سنة 1924 و 1926 بالتفصيل عمل هذه الالكترودات عندما يتغير زخمها الكامل . وبين لانغموير وهـ . موت - سميث Mott-smith إنه بالامكان الاستخراج من مميزات التيار - الزخمي لهذه الالكترودات الإضافية المسماة بعد ذلك « مسابر لانغموير » ، الثقل النوعي للالكترونات والايونات الداخلة في التفريغة وتوزيع سرعاتها ؛ وعلى العموم أكدت القياسات فرضية التوزيع المكسوليبي للسرعات وأتاحت تحديد درجات الحرارة بالنسبة إلى الالكترونات وإلى الايونات . ورغم أن نظريتها وتشغيلها ما تزال تعترضهما الصعاب فإن مسابر لانغموير تشكل وسيلة مهمة للدراسة الغازات المؤينة بصورة تجريبية .

في سنة 1923 نشر لانغموير دراسة تركيبية حول « التفريغات الكهربائية في الغازات ذات الضغط المنخفض » ، واستخدم فيها كلمة « بلازما » أي الغازات المؤينة وهذه الكلمة تعرف اليوم قبولاً حسناً . وقد ميز لانغموير في هذا المجال نوعين من المناطق داخل الشحنات المفرغة: الأولى تسمى بلازما وتتميز بحيادية كهربائية وسطى ، إذ إن الشحنات من الايونات التي تحيد شحنات الالكترونات ؛ والنوع الآخر ، وفيها يلعب الحقل الكهربائي دوراً مهماً ، تشكل « غطاءات أو أغشية » تغلف الالكترودات . إن هذا التمييز الأساسي يقدم كثيراً من الايضاح حول نظرية الغازات المؤينة .

وفي سلسلة من المقالات التي نشرت بالاشتراك مع ل . تونكس L. Tonks سنة 1928-1929 درس لانغموير التآرجحات في غاز مؤين . إن البلازما تتسرب كما لو كانت وسطاً مطاطاً ، وحصيلة القوى الكهربائية المحدثة بفعل الجزئيات المشحونة تعبر عن ذاتها بقوة استرجاع . وبالتالي تمتلك البلازما تواتراً خاصاً مع التآرجح أو اللذبلة يسمى « تواتر البلازما » ، التي تميز السلوك الجماعي في الالكترونات والايونات : وقيمة هذا التواتر تساوي $F_p = 9000 \sqrt{n}$ باعتبار F_p بالهرتز و n تمثل عدد الالكترونات بالسنتيم المكعب .

ويبقى نشاط إيرفن لانغموير العلمي مرتبطاً بالتطبيقات العملية . وقد رأينا دوره في تحويل سماع لي دي فورست إلى أنبوب فراغ حقيقي . وبالعكس ، وعن قصد قام لانغموير وهول ، وهذا

الآخر من وضع أول مغنطرون (أنبوب فارغ يؤين الالكترونات) ، بإدخال الغاز في أنبوب لدراسة « التحكم بالتفريغ بواسطة شبك » وهكذا وضعنا النظرية الكاملة لأنبوب جديد سميها تيراترون ، سنة 1929 . وفي تحليل المسائل التي طرحها عليه التقنية أظهر لانغموير عقلية عملية دقيقة جداً ، وهذا من غير شك ما مكّنه من أن يكون أول باحث أميركي يعمل في مختبر صناعي ونال جائزة نوبل سنة 1932 . ويبدو أن لانغموير توصل إلى الاهتمام بالتفريغ بالغازات وهو يدرس المقومات ذات قوس بخار الزئبق ولاحظ عندئذ تعقيدات الظواهرات أمثال توزيع التفريغات ، والزخم الكهربائي في الكترود مغنطس في غاز مؤين . ورغم قدم استعمال المسابر لقياس توزيع الزخم على طول التفريغ ، فإن عملية سير العمل لم تكن مفهومة . وأول ملاحظة توصل إليها لانغموير سنة 1923 حول المسابر كانت مهمة جداً : فقد لاحظ أن التيار المأسور من قبل الكترود إضافي أو مساعد هو من الناحية العملية مستقل عن الزخم المطبق فيه بشرط أن يكون سلبياً بما فيه الكفاية . وشرح لانغموير هذه الواقعة حين لاحظ أن مثل هذا الالكترونود يرفض بشدة الكرونات البلاسما ويحيط نفسه « بغلاف » لا يحتوي إلا على أيونات إيجابية وعلى جزئيات حيادية . وتؤثر كل الأيونات الايجابية التي تصل إلى هذا الغلاف بالتسرب ، من قبل الالكترونود . وعندما يجعل هذا الأخير سلبياً أكثر ، تزداد سماكة الغلاف ، من دون التيار المأسور الذي تتحكم به ثقلية الايونات وسرعتها الوسطى الاضطرابية الحرارية . وتحدث حوادث مماثلة عندما يجعل الالكترونود إيجابياً جداً . إن تشكل الأغلفة حول الالكترونودات الغاطسة في غاز مؤين شائع وعام : إنه يعزل الالكترونودات عن البلاسما ، ويُصعب التحكم بالتيار المنبثق عن تفريغ من خلال شبك .

وتحليل أسر التيار بالمحبس يدل - في التفريغات الغازية - على أن التغيرات الشديدة في الزخم تحصل بالقرب من الالكترونودات وهناك قسم من التفريغات ، العامود الإيجابي الذي لاحظته فرادي ، يعيل إلى البقاء على الحياد وسطياً . وبتأثير مزدوج من الاضطراب الحراري ، والتفاعلات الكهروثوية تبقى الشحنات الإيجابية والشحنات السلبية ، تبقى بعدد متساو ضمن حجم صغير : وهذه الخصوصيات تحدّد ما سماه لانغموير البلاسما . إن نظرية تذبذب البلاسما المكتشف من قبل ف . بينغ Penning سنة 1926 توضح هذا المفهوم . وإن قضينا على حيادية الوسط ، وذلك بتحريك قسم من الالكترونات ، فإن هذه الالكترونات تنتقل نحو منطقة أقل غنى بالالكترونات ، بفعل قوة تناسب مع المسافة . ويحدث عندئذ ذبذبات ذات تواتر لا تتعلق إلا بالثقل النوعي الوسطي للاكترونات داخل البلاسما . وقد درس تونكس ولانغموير أيضاً الذبذبات الايونية في البلاسما وبينّا علاقتها بالموجات السمعية في الوسط الغازي .

وفي دراسة خصائص البلاسما ، يلعب مقدار آخر دوراً مهماً : إنه « طول ديبي » الذي سبق استعماله بعدة سنوات من قبل ديبي في نظرية الالكترونوليتات (السوائل المستعملة في عمليات التحليل الكهربائي) .

الالكترونوليتات - إن نظرية القرابة بين عملية سريان الكهرباء في الغازات المؤينة ، وفي السوائل لم تخف على علماء القرن التاسع عشر . وإدخال مفهوم الحركية (سرعة الايونات في

حقل كهربائي متخذ كوحدة) في الغازات المؤينة ، قد استلهم من أعمال هيتورف Hittorf على السوائل المسماة الكتروليت (1863) ، وكذلك دراسة انتشار الايونات الغازية اتخذ أهمية من قبل نرنست Nernst بالنسبة إلى الايونات في السائل التحليلي . إلا أنه يوجد فرق أساسي بين الخصائص الكهربائية في هذين الوسطين . ويتأتى هذا الفرق من أن الالكترونات وهي حاملات رئيسية للتيار في الغازات المؤينة ، لا توجد حرة طليقة في المحلولات الإلكتروليتيية حيث يكون التيار محمولاً بالايونات . إن الخصائص الكهربائية لهذه الايونات وخاصة عشقها ، تلعب دوراً مهماً ، بحيث أن الكهروكيميا ، رغم تعلقها بالكهرباء والكيمياء تشكل مجمللاً لا يمكن فصله ؛ فالتفاعلات بين الايونات والجزيئات داخل المذيب تلعب دوراً أساسياً : من ذلك ان قانون ستوكس Stokes بالنسبة إلى الانسياب اللزج ، المطبق على حساب حركية الايونات منذ أعمال انشتين سنة 1905 حول الحركة البرونية يتيح تحديد شعاع تراكمي للايونات الموجودة في المحلول ؛ وبمقارنة شعاع تراكم الايونات بالشعاع المعطي من قبل دراسات البلورات على أشعة X ، فقد أمكن تبين أن غالبية الكاتيونات أو الشارادات السلبية هي « مائية » أي مثبتة فوق جزيء أو عدة جزيئات مائية . وفي الالكترونوليتات تختلف الايونات في أصلها عن أصل الايونات الغازية . فالغاز لا يحتوي عملياً إلا على جزيئات حيادية في حال انعدام العامل المؤين أو في حال عدم وجود فرق في الزخم ، يغذي التفريغة . وبالعكس ، وفقاً لأفكار ارهينيوس Arrhenius (1887) ، التي تشكل دائماً أساس نظرية السوائل التحليلية (الالكتروليت) ، تنوجد الايونات فجأة في محلول الكتروليتي . وقد نوقشت هذه النظرية حول التفكك التحليلي إذ لا يفهم تماماً كيف لا تتفكك خلية كلورور السوديوم (الملح) مثلاً ، في حالة البخار في حين تتفكك عندما تكون مذابة : وقد بررج . ج . طومسون ثم نرنست هذه الظاهرة فعزياها إلى نقص في القوى الكهربائية الثابتة بين الذرات من جراء ثبوتية الخزن في المذيب . وهذا التفسير رغم توضحه بواسطة الحساب الترموديناميكي أي الحراري المتحرك الاحصائي (فولر Fowler 1939) يجب أن يعاد النظر به في ضوء النظريات الحديثة حول القوى المتفاعلة ذرياً .

وسنداً لنظرية آرهينيوس يمكن استخراج معامل التفكك من القياسات التوصيلية . ومن جهة أخرى أن قانون تأثير كتلة التوازنات الحرارية التحركية ، المطبق على ظاهرة تفكك الجزيئات ، وإعادة انعاج الايونات يضع علاقة بين معامل التفكك وبين تركيز السائل التحليلي على الشكل التالي : ثابتة $\alpha^2 C / (1 - \alpha)$ (باعتبار أن α هي معامل التفكك ؛ و C التركيز) . وهذه المعادلة مثبتة تماماً بالنسبة إلى الاذواب المائية في السوائل التحليلية الخفيفة أي تلك التي تعطي الأسيد الاستيك ، توصيلية ضعيفة للماء . وتدخل الحالات الأخرى صعوبات هي في أساس تطور الافكار الكيميائية في القرن العشرين .

ونجد الشذوذات الأكثر بروزاً في السوائل التحليلية القوية ، التي تعطي توصيلية قوية للماء حتى في حالة الذوب الخفيف مثل الأسيدكلوريدريك أو مثل كلورور السوديوم . وتعنى هذه الاستثناءات أيضاً بالعلاقة بين التركيز ومعامل التفكك كما تعنى بالقوانين التي تحكم الضغط الامتصاصي للمحلولات وبصورة خاصة امتصاص الضوء . وعن طريق قياس امتصاص الضوء من

فيل محلول نترات الكروم استطاع بيروم Bjerrum أن يبين سنة 1909 أن هذا الملح كان منفصلاً تماماً عن الماء .

ونظرية المحاليل القوية ، التي وضعها ديبي وهوكل Huckel سنة 1923 تركزت على فرضية انفصالها الكامل وتعطي هذه النظرية دوراً أساسياً للتفاعلات الكهربائية الثابتة ، التي سبق وأخذها في الاعتبار ميلنر Milner سنة 1912 . ولاحظ ديبي أن الأيون الإيجابي يجتذب الأيونات السلبية ويطرده الأيونات الايجابية الأخرى ؛ في حين تميل الحركة البرونية للأيونات ، بالعكس ، إلى تشتيتها عشوائياً . والأوليتان المتناقضتان الجذب الكهربائي الثبوتي والاضطراب الحراري يؤديان إلى تشكل جويون سلي حول أيون إيجابي مثلاً : لا شك أن الوسط يجب أن يبقى حيادياً بوجه عام ، ولكن يمكن إثبات أن كل شيء يجري كما لو أن شحنة متساوية وذات إشارة متعاكسة قد وزعت بشكل متجانس حول الأيون المركزي فوق كرة يسمى شعاعها « طول ديبي » وكما هو الحال في نظرية السوائل التحليلية يبدو هذا المفهوم حول « طول ديبي » أساسياً في نظرية بلاسما الغازات المؤينة : وهذا المفهوم يمثل مدى عظم المسافة التي يمكن الابتعاد بها عن الحيادية الكهربائية ، مع الأخذ في الاعتبار الاضطراب الحراري في الجزيئات المكهربة .

وتتيح نظرية ديبي وهوكل تفسير توصيلية السوائل التحليلية عن طريق تشويه الغيمة الأيونية أثناء حركة الأيونات . وهذه الغيمة لا تتواجد في الحال ، وجرى تحديد « وقت استرخاء » من أجل قيام زوال حالة التوازن المتكونة بفعل أيون مركزي محاط بغمامة : وقد قام ديبي وفالكنهاجن Falkenhagen سنة 1928 بحساب هذه الغمامة . وعندما يتحرك الأيون المركزي تحت تأثير الحقل الكهربائي فعلى الغمامة أن تتشكل من جديد في الامام وأن تزول في الخلف . ولما كانت هذه الظاهرة غير آتية فهناك زيادة طفيفة في الشحنات لها نفس الإشارة ، في مقدمة الأيون المركزي ، وزيادة خفيفة في الشحنات ذات الإشارة المعاكسة في الخلف . إن هذه الزيادات في الشحنات تعمل على كبح حركة الأيون . وهناك سبب آخر للكبح مرتبط بالالكتروفوريس (أي بطريقة فصل المكونات ، في المحاليل اللزجة . . .) : إن حركة شحنات الغمامة ، تحت تأثير الحقل الكهربائي ، تخرج المذيب باتجاه معاكس لاتجاه الأيون المركزي . وعند درس عمليات الكبح هذه ، نصل إلى قنوتن تغير التوصيلية بتغير التركيز ، وذلك بالتوافق التام مع التجربة على الأقل في المحاليل القليلة التركيز وضمن نفس الحدود ، وبالاتكاز على نظرية ديبي وهوكل شرح فالكنهاجن وأ . دارسو تغيرات لزوجة المحاليل التحليلية مع تغير التركيز .

وتطبق نظرية هوكل وديبي تطبيقاً صعباً على المحاليل المركزة رغم التحسينات التي ادخلت من أجل أخذ تراكم الأيونات بالحساب . وأعطت النظرية التي عرضها بيروم سنة 1926 وأكملها اونساجر نتائج مفيدة ، وأدخل بيروم بشكل عشوائي نوعاً وامتداداً « مرتبطاً » بطول ديبي . وإن نظرنا إلى كرة ذات شعاع حرج [أي متغير بتغير العوامل الأخرى] ومركزة على أيون إيجابي مثلاً ، فيمكن أن نثبت أن صفتين أو ترتيبين فقط لهما احتمال معقول في الحدوث : أو أنه لا يوجد أيون آخر في هذه الكرة أو أنه يوجد أيون سلبى . وفي الحالة الأخيرة يشكل الأيونان « شراكة » أو جمعية ، يكون مفعولها الكهربائي الثبوتي البعد المدى شبه معدوم تقريباً . والعلاقة بين

الايونات الحرّة والشراكات يمكن أن تتحدد بقانون مفعول الكتلة وبالحرارة المتحركة الاحصائية . وتستمر الدراسة بتطبيق نظرية ديبي وهوكل على الايونات الحرّة فقط لا على الشراكات . في سنة 1934 برهن فيوس Fuoss على صحة نظرية بيروم مبيناً أن الشعاع الحرج (القابل للتغير) يمكن أن يتغير ضمن حدود واسعة نوعاً ما دون أن يؤثر كثيراً على النتيجة ، وإن هذه النظرية تبدو أكثر ارضاءً من نظرية ديبي من وجهة نظر الميكانيك الاحصائي . وتبدو شراكات بيروم وكأنها أساساً جدياً لدراسة المحاليل التحليلية المركزة .

وتعود الظاهرات المذكورة أعلاه إلى القسم من المحلول التحليلي البعيد عن الالكترودات ، وهو قسم يسلك سلوك الموصل الأوهمي (نسبة إلى أوهم العالم الفيزيائي الذي وضع وحدة قياس المقاومة الكهربائية ورمزها Ω) . أما الالكترودات فتلعب دوراً أساسياً لأن التيار الكهربائي محمول من قبل الايونات إلى داخل السائل التحليلي ، في حين تحصل حركات في الالكترودات داخل الطوق المعدني الخارجي : وإلى جوار الالكترودات تحدث التفاعلات بين الالكترودات والايونات وهي تفاعلات تعتبر من قبل النظريات الكيميائية الحديثة كعمليات أكسدة (خسارة الكترون واحد بفعل الايون) أو عملية تحذ من انتقال الكترون إلى الأيون . ووضع نرنست سنة 1899 - وهو يتابع نظرية الحرارة المتحركة من جراء التلامس بين الالكترود والسائل التحليلي ، وهي نظرية وضعها جيبس وهلمهولتز - العلاقة أو المعادلة بين فارق زخم التماس ، والضغط الامتصاصي للايونات داخل المحلول . وإذا اعطينا بالافتراض زخماً مقداره صفر لـ الالكترود أي قطب عادي من الهيدروجين ، يستخدم كعنصر امتداد ، فيمكن تمييز كل نمط الالكترود ، أو بصورة أولى كل نظام مختزل للأكسدة ، بواسطة زخم معين . وافترض نرنست أن الضغط الامتصاصي يتناسب مع تركيز الايونات في المحلول . ولكن للأسف ، وفي العديد من الحالات تتطابق القيم التجريبية لهذا الزخم سندا للنظرية نرنست ، مع معامل تفكيكي أكثر من الوحدة بكثير في حالة التركيزات المرتفعة . ولتجنب هذه النتيجة المحالة كان لا بد من افتراض أن الضغط الامتصاصي لا يتمثل بتركيز الايونات بل بقيمة جديدة هو نشاطها (راجع الفصل 7 من هذا القسم) . وهذا المفهوم ، الذي يأخذ في الحساب الطاقة الكهربائية لتفاعلات الايونات ، يتفسر بنظرية ديبي وهوكل ، وهو ينتهي إلى استنتاجات تثبت التجربة فيما يتعلق بدوائية الاملاح القليلة الذوبان وبالضغط الامتصاصي .

إن نظرية السوائل التحليلية التي أشرنا إلى مظاهرها الفيزيائية لم تبق غريبة عن تطور الافكار في الكيمياء . لقد سبق وأشرنا إلى ظاهرات الأكسدة والاختزال ؛ نذكر أيضاً المفاهيم الجديدة المتعلقة بالاسيدات (الحوامض) والقواعد وهي مفاهيم اقترحها برنستد Bronsted ولوري Lowry سنة 1923 (أنظر الفصل 11 من هذا القسم) . في هذا المجال ، كما هو الحال بالنسبة إلى العازلات الكهربائية تعتبر المعادن والغازات المؤينة ، والسماك الكهربائية غير منفصلة عن الخصائص الأخرى للمادة . وأخيراً تعطي النظريات الحديثة للايونات دوراً أساسياً في التوصيلية الكهربائية في السوائل المذابة ، وفي المحاليل البلزجة الغروية ، وفي الأصماغ التي تتبادل الايونات وحتى في العوازل حيث التوصيلية الضعيفة جداً والتي درست بشكل خاص من قبل يوفي

Ioffe والمدرسة الروسية ، يمكن أن تكون إما أيونية أو الكترونية .

وبالعكس إن الايونات في محلول كهربائي وايونات البلور المؤين ، تحتل ، في الشبكة البلورية ، مواقع ثابتة ، إن نحن استثنينا الحركات ذات المدى الضعيف والتي تنسب إلى الاضطراب الحراري . إلا أن عيوب الشبكة البلورية تتيح توصيلية أيونية ضعيفة . من ذلك أنه في برومور الفضة يمكن أن تحتل الشوارد السلبية Ag^+ مواقع بين فرجات الشبكة ، تاركة أماكن فراغية في الشبكة الفرعية المتكونة بفعل الشوارد (شائبة فرنكل ، 1926) . في حالات أخرى ، مثل حالة كلورور الصوديوم (ملح) ، هناك أماكن قد تركت شاغرة في الشبكتين الفرعيتين المتكونتين من الايونات (ايون مشحون سلبياً) والكاتيونات (ايون مشحون إيجابياً) (نقص شونكي ، 1935) : وبالتدريج تستطيع الايونات أن تنتقل لتحل هذه المحلات الفارغة . وأخيراً تثبت ايونات الفضلات بصورة أضعف من تثبت ايونات الشبكة : وانتشارها بالشبكة بتأثير من الاضطراب الحراري مستعمل في تكنولوجيا الموصلات النصفية . وتحت تأثير الحقل الكهربائي يمكن للايونات المثبتة بشكل ضعيف أن تنقل داخل الشبكة وتنقل معها تياراً كهربائياً ضعيفاً . وعلى هذا ، في بلورات الملح أو كلورور الصوديوم وحدها الايونات Na^+ تشارك في التيار في درجة الحرارة العادية في حين يكون التيار محمولاً بالايونات Cl^- و Na^+ عند نقطة اللويان . وفي بلورات أخرى عازلة توجد أيضاً توصيلية ضعيفة جداً ذات منشأ الكتروني .

التقدم في نظرية العازلات الكهربائية - فضلاً عن انتقال تيار ضعيف في العوازل يتوجب على نظرية العازلات أو الخزانات الكهربائية أن تفسر استقطابها أو تكثيفها تحت تأثير حقل كهربائي ، وتغير الثابتة العازلية مع تغير التوتر ودرجة الحرارة ، وكذلك تفسير الكيفية التي تنتشر فيها الموجات الكهربائية المغناطيسية . إن المفاهيم الحديثة حول تركيب المادة تتيح اكمال نظرية لورنتز . العازلات الكهربائية تظهر بأشكال متنوعة مثل الغازات والسوائل والجوامد ، وتكثيفها له عدة مصادر . وتحت تأثير حقل كهربائي تستطيع الالكترونيات داخل الذرة أن تنتقل بالنسبة إلى النواة : وهذا ما يسمى الاستقطاب الالكتروني . وعندما تجتمع ذرتان أو أكثر لتشكل جزيئاً فقد لا تتوزع الالكترونيات بشكل تناظري بالنسبة إلى النواة : عندما يمتلك الجزيء عزماً الكترونياً دائماً ، فنسمى عندئذٍ « استقطابية » ، وعندما تمتلك المادة استقطاب توجيهي . وأخيراً يمكن تغيير توزيع الشحنات داخل المادة بتطبيق حقل كهربائي : إنه الاستقطاب الذري .

ويتضمن العازل الكهربائي جزئيات استقطابية مثل الماء ولا يحتوي على استقطاب عند المستوى المجهرى التضخيمي ، في حال غياب حقل كهربائي مطبق عملياً ، لأن الاضطراب الحراري يوجه الاقطاب المزدوجة عشوائياً . بنقل نظرية شبه المغناطيسية التي قال بها لانجفين ، حسب ديبية سنة 1912 العزم الناتج عن وجود حقل كهربائي ثبوتي . إن نظام التوازن الاحصائي الذي يتوافق مع توجه وسط باتجاه الحقل لا يستقر للتو ؛ وكذلك إن نحن أزلنا الحقل الخارجي فإن الحركة البرونية تحطم التوازن : كما هو الحال في نظرية السوائل التحليلية القوية ، وقد بين ديبية مميزة هذه الظاهرة « بزمن استرخاء » حسب انطلاقة من قانون اللزوجة التي قال بها ستوكس ، مفترضاً بأن الاقطاب الشائبة هي كرات تدور في وسط لزج . وهكذا نجد أن الثابتة في العازل

الكهربائي تتغير قليلاً ، حتى تواترات قد تكون في سُلَّم التواترات العالية جداً ، وحيث يكون كبح توجه الأقطاب الثنائية أحد أسباب امتصاص الموجات . في هذه المنطقة نلاحظ تقلصاً في الثابتة الكهربائية العازلة عندما يزداد التواتر ، كما لاحظ ذلك آ . كول Cole ودروود Drude سنة 1896 . وقد تم اقتراح نماذج متنوعة من أجل دراسة استقطاب توجه السوائل والجوامد . وهكذا استبدل انكلي Onley سنة 1938 كرات ديبية باهليلجات مما أدى إلى ستة « أزمنة استرخاء » .

وفي القرن 19 قام كلوزيوس وموسوتي ثم لورنتز بحساب الاستقطاب الذي يسببه تشكل الاقطاب الثنائية بفعل الحقل الكهربائي . إن كل جزيء لا يتلقى مفعول الحقل الخارجي المطبق بل يتلقى مفعول «الحقل الفعلي» السائد ضمن تجويف صغير كروي والمركّز على هذا التجويف ، مع الأخذ بالاعتبار مفعول الاقطاب الثنائية الأخرى الحاثّة ، وتدل هذه الحسابات على وجود ثابت جزيئي « انكساري » أو وجود استقطاب ، بالنسبة إلى مادة معينة مهما كانت حالته الفيزيائية ودرجة حرارته وضغطه . وتتم الدراسة العملية لهذا الثابت الذي لعب دوراً أساسياً في تطور النظرية اليوم على مستوى كبير من تغير المعايير : وهكذا تم قياسه بالنسبة إلى ثاني أكسيد الكربون تحت ضغط 1700 جوّية (آ . ميشلس Michels ول . كليريكوير Kleerekoper سنة 1939) ، وثبوتية هذا الثابت تتأكد نوعاً ما بالنسبة إلى الجزيئات غير الاستقطابية ؛ إلا أن الفروقات بين النظرية والتطبيق أدت إلى البحث عن طرق دراسة التفاعلات الكهروثبوتية بين الاقطاب الثنائية ، وهي أكثر وضوحاً من نظرية لورنتز (ج . كيركود Kirkwood وج . ايون Yvon سنة 1936) .

وإن نحن عدنا إلى حساب لورنتز مع الاقطاب الثنائية الدائمة التي قال بها ديبية لوجدنا أن الوسط يأخذ حتماً استقطاباً عشوائياً تحت درجة حرارة معينة ومحددة : وفي هذا تحدث ظاهرة شبيهة بمرور شبه مغناطيسية في المغناطيسية الحديدية . إن المواد الحديدية الكهربائية موجودة أيضاً ولكنها نادرة جداً . وبالعكس ، وسنبدأ لنظرية موسوتي وديب ، أنها ظاهرة شائعة : وهكذا إذا نظرنا إلى القيمة التجريبية في عزمه الاستقطابي الثنائي نجد أن الماء يصبح حديدي الكهرباء تحت ما يقارب من 1140°K . في سنة 1936 عادل . اونساغر إلى الحساب فاستبدل « الجزيء » المسبار « الدقيق الذي يُستخدم في حساب لورنتز ، بقطب ثنائي يستقطب بنفسه الوسط المجاور ، المعتبر كوسط عازل ودائم : في مثل هذه الظروف لا يحدث الاستقطاب العفوي . إن نموذج اونساغر قد تحسن في سنة 1939 على يد ج . كيركود الذي اعتبر الجزيء المسبار وجواره المباشر كمجمل عرف ترتيبه بفضل الدراسات على أشعة X . وأعطت هذه النظرية التي طبقها ج . اوستر Oster وكيركود على حساب الثبوتية الكهربائية العزلية في الدرجة 25°C في مجال الكهرباء الثبوتية ، قيمة $\epsilon = 78.2$ في حين أن القيمة التجريبية هي 78.5 وأن حساب اونساغر اعطى قيمة $\epsilon = 31$.

إن نجاح نظرية كيركود يدل على دور ترتيب الجزيئات في مادة ما في خصائصها العازلة . وكذلك ديبى حسن نموذج الكروي أخذاً في الحساب أن بنية المكان تحول دون بعض الحركات . وهذا الأمر أكثر صحة في البلورات حيث الاتصال الوثيق بين القوى الكهربائية والقوى الميكانيكية يترجم عن نفسه بخصائص خاصة : الكهرباء الخارجية (القشرية) والكهرباء الحرارية

والكهرباء القابضة والكهرباء الحديدية . دون التوقف عند هذه المظاهر نشير فقط إلى أن علماء البث الكهربائي يستعملون عادة البلورات ذات الكهرباء القشرية وبخاصة الكوارتز لصنع مصاف للتواترات ، ومؤرجحات ذات ثبوتية قوية وساعات ذات دقة عالية . وفي التواترات العالية جداً ، القريبة من السلم الضوئي وسلم تحت الأحمر ، يلعب امتصاص الموجات الكهرومغناطيسية ذات التواترات الرجعية دوراً أساسياً في تحديد الثابتة العازلة : إن الميكانيك الكانتي قد غير تماماً تأويلها ولكنه لم يغير شكل قانون تغير مؤشر الانحراف مع التواتر $n^2 = 1 + \sum n_i^2 / (f_i^2 - f^2)$ وفي هذه المعادلة تمثل f_i تواترات الترجيع . إن ظاهرات الاستقطاب تجرّ وراءها تغيرات في الطاقة الداخلية للعازلات : وعلى هذا يرتبط استقطاب التوجيه بطاقة دوران الجزيئات ؛ ويرتبط الاستقطاب الذري بذبذبات الذرات داخل الجزيء والاستقطاب الالكتروني بطاقة الالكترونات داخل الذرات ويحدد الميكانيك الكانتي لكل من هذه الحركات مستويات طاقة ثبوتية ، بداخلها لا يشع النظام . والموجة الكهرومغناطيسية يمكن امتصاصها إذا كانت الفوتون تساوي الفرق بين طاقات مستويين مكتممين : وهذا ما يحدّد تواترات الترجيع . وبالنسبة إلى الالكترونات الاطرافية في الذرات ، تحدث هذه الظاهرة في جوار السلم الضوئي . ولكن بالنسبة إلى حركة الذبذبات ودوران الذرات والجزيئات تبدو التواترات العاملة هنا ، في مرتبة أدنى ، بالنسبة إلى تحت الأحمر ، وحتى في السلم الكهربائي الاشعاعي .

وهناك جردة أولى للنظرية الكانتي حول العازلات ، قد جمعت سنة 1932 ، من قبل ج . فان فليك في كتابه : نظرية القابليات الكهربائية والمغناطيسية . وفيه يدرس بصورة كاملة حالة الغازات ضمن الظروف الطبيعية ؛ وبالمقابل لم يدرس موضوع الغازات تحت الضغط العالي ، وكذلك مسألة السوائل والجوامد إلا بصورة مختصرة جداً . ومنذ ذلك التاريخ فإن معارفنا بالأواليات التي هي في أساس الاستقطاب العزلي قد تقدمت بمقدار ما بنيت النظرية الكانتي حول الجزيئات والبلورات ، وبمقدار ما اتاحت التقنيات التجريبية الجديدة الوصول إلى بنيتها الميكروسكوبية (أشعة X وتشتت النيوترونات) .

مثلاً لقد أمكن تبين ارتباط الكهرباء الحديدية المعروضة التي تقدمها بعض البلورات أي وجود استقطاب عفوي على المستوى التضخيمي ، بتغير بسيط في الشبكة البلورية بحيث تصبح هذه الشبكة أقل تناظراً ، وليس بالتوجه العفوي للاقطاب المزدوجة التي قال بها ديبي . نذكر أيضاً أن فان فليك وف . ويسكوف Weisskopf سنة 1945 ثم فان فليك وه . مورجينو Morgenau سنة 1949 حاولوا وضع نظرية توحيدية للأواليات التشيتيتين اللتين تفسران الخسارة في العازل : إنه استرخاء ديبي ، والامتصاص الانتقائي بفعل الذرات والالكترونات .

ورغم التقديم الضخم الذي حققه الميكانيك الكانتي ، تجدر الإشارة إلى الخدمات الكبرى التي قدمها الاحصاء الكلاسيكي ، كما دلت على ذلك نتائج دراسة التفاعلات الكهروثبوتية بين الجزيئات المضطربة ، وهي نتائج معروضة في كتب ه . فروهليش Frohlich (نظرية العوازل ، 1949) وك . بوتشر Bottcher (نظرية الاستقطاب الكهربائي ، 1952) .

وفي سنة 1961 وبفضل ضخامة تركيز الطاقة الحاصلة بفضل اللازر الياقوتي استطاع ب . فرنكين Franken ومساعدوه رصد ظاهرات غير خطية داخل بلورات عازلة ، والحصول على انتاج ضوء بنفسجي بفضل مضاعفة تواتر الضوء الاحمر المتجانس . وأعطت هذه التجربة اهتماماً ضخماً لدراسة الاستقطاب غير الخطي الذي كان قد عولج من قبل ن . بلومبرجن Bloembergen . وتقع هذه التجربة عند نقطة التقاء مجالات ثلاثة في الدرس : نظرية العازلات ، وبث الضوء المتماسك بفضل اللايزر ودراسة الظاهرات غير الخطية (أنظر لاحقاً) .

VII - المطيافية الهرتزية وتطبيقاتها العملية

إن الدراسات التجريبية التي قدمت العناصر الأساسية من أجل وضع نظرية العازلات ، والبرهان على صلاحيتها ارتدت أهمية كبيرة بمقدار ما أعطت أيضاً معلومات عن بنية المادة . وعلى هذا فمعرفة عزوم ثنائية القطب أصبحت مهمة جداً منذ أتاح الميكانيك التموحي فهماً أفضل للشيء الذي يحدد لانتظرية الجزيئات الكهربائية . وعلى سبيل المثال طبق قياس العزوم الثنائية القطب على دراسة بنية البروتينات ، والاسيدات الامينية والبيتيدات بفضل ج . اونكلي وأ . كوهن Cohn وج . ادسال Edsall (1943) .

المطيافية الهرتزية - حتى أواخر الحرب العالمية الثانية كانت التجارب تجرى على شريطين من التواتر منفصلين تماماً : في الكهرباء الثبوتية وفي التواترات الكهربائية الاشعاعية تقاس الثوابت العزلية ، والخسارات في المواد ؛ وفي سلازم الضوء وتحت الاحمر يجري الاهتمام بشكل خاص بتواترات الامتصاص الانتقائي ، إلا أنه في 1934 قام كليتون Cleeton وليامس Williams باثبات أول انتقال جزيئي في سلم التواترات العليا وذلك بعد التبين أن الامونيأك يمتص الموجات ذات الطول البالغ 1,25 سم للموجة الواحدة : وهذا مايسمى بشريط تعاكس الامونيأك . ومنذ أواخر الحرب تطورت تقنية جديدة في دراسة الشرائط وخطوط الامتصاص تحت اسم « التسجيل الطيفي للتواترات الاشعاعية » أو تحت اسم « المطيافية الهرتزية » . ومجالها المفضل هو سلم التواترات العالية حيث تستفيد هذه التقنية من التقدم الحاصل بفضل الاعمال الجارية على الرادار وعلى الحزمات الهرتزية .

وعلى هذا ومنذ الدراسة التي اجراها ت . داكلن Dakin وو . غود Good ود . كولس Coles سنة 1946 حول جزيء كوس COS أصبح مفعول ستارك Stark في مطيافية التواترات العالية طريقة مهمة في قياس عزوم الازدواج القطبي : وبالفعل ، وعندما تمتلك الجزيئات عزوماً كهربائياً دائماً يحدث تطبيق حقول كهربائي ثبوتي تضعيفاً مهماً في خطوط الدوران ذي التواترات العالية ، شبيهاً بمفعول ستارك على الخطوط الضوئية .

وتكمل المطيافية المتعلقة بالتواترات العالية والتي تتيح القياس المباشر للفروقات بين المستويات الطاقوية المكعبة بحركات الدوران وبذبذبات الذرات والجزيئات ، المعلومات التي تقدمها دراسة الاطياف البصرية فيما يتعلق بمستويات طاقة الالكترونات في الذرات .

وهكذا تتكون الخطوط الضوئية التي يبثها جزيء الهيدروجين من خطوط رفيعة متقاربة جداً شرحتها نظريات سومرفيلد وديراك بوجود مستويات الكترونية متقاربة جداً داخل الذرة . وعن طريق المطيافية الهertzية يمكن بصورة مباشرة اكتشاف الانتقالات بين هذه المستويات ، وعلى هذا درس لامب Lamb وريذرفورد Retherford سنة 1950 البنية الدقيقة لطيف الهيدروجين الذري . نذكر أحياناً أن المطيافية الهertzية هي آلة أساسية لدراسة السمات المغناطيسية في المادة : دراسة الرجوع شبه المغناطيسي الالكتروني من قبل زافويسكي Zavoisky سنة 1945 ودراسة الرجوع شبه المغناطيسي النووي من قبل بلوخ وبورسل تدلان على ذلك .

إن المطيافية الهertzية تقوم في أغلب الأحيان على دراسة امتصاص الموجات عبر المواد . وهي تتخذ أحياناً أشكالاً أكثر دقة . وهذا هو حال طريقة النوافير الجزيئية التي يعود منشؤها إلى أعمال دونوايه Dunoyer سنة 1911 : نحدث ضمة من الجزيئات بتسخين المادة في فرن مثقوب بثقب واحد موضوع أمام سلسلة من الأغشية الحاجزة . وهذه الطريقة طبقت مثلاً في تجارب لامب وريذرفورد التي سبقت الإشارة إليها .

وقبل معالجة تطبيقين مهمين من تطبيقات المطيافية الهertzية وهما الساعات الذرية والمازرات نذكر أيضاً مجالين في الدراسة تلعب فيهما التواترات العالية دوراً مهماً . إن القياسات بالموجات الستيمترية والمليمترية أصبحت إحدى الوسائل المهمة في دراسة الغازات المؤينة . كما أصبحت تستعمل لدراسة مشتقات الحديد والعازلات ذات الخصائص المغناطيسية . وفي حال وجود حقل مغناطيسي يصبح هذين الوسطين متغيري الخواص وثنائي الانكسار : وهكذا تتميز مشتقات الحديد (فرّيت) بعوتر تسريبي . ودراسة خصائصها المغناطيسية الدوارة ، والموجات التي تنتشر فيها ، قد تمت ، بذات الوقت ، على يد بولدر Polder سنة 1949 ، وعلى يد غولدشتين Goldstein سنة 1951 ، ثم من قبل العديد من الباحثين . وبالعكس ، ويفضل استعمال الفرّيت (راجع الفصل 4 من هذا القسم) اغتنت تقنية التواترات العالية بعناصر من أطواق غير متعاكسة « دوارة » ، و « لقافة » أصبحت اليوم شائعة جداً .

الساعات الذرية - إن أول تطبيق عملي لانتقال التواتر الاشعاعي الكهربائي كان تثبيت الساعات المستعملة كمعايير ثانوية للوقت . وبعد تطور الكهرباء اللاسلكية ، تشكل قلب هذه الساعات من رقائق هو الأكثر استقراراً يمكن تحقيقه بفضل التقنية الكهربائية اللاسلكية . حتى سنة 1925 ، كانت تواتر هذه الرقاصات يثبت بواسطة مرنان . وأتاح التثبيت بواسطة كوارتز كهربائي ضاغط ، والذي ظهر بفضل أعمال كادي Cady وماريسون Marrison ، صنع ساعات تقيس اليوم بدقة تبلغ 100 ألف جزء من الثانية تقريباً (الدقة النسبية 10^{-10}) ولكن للأسف تشاب ساعات الكوارتز بانحراف مهم في المدة الطويلة من الزمن (دقة نسبية بخلاف شهر تعادل : 10^{-9}) . والانجازات البعيدة المدى ويقاس أقل الانجازات القصيرة المدى يمكن تحسينها بتثبيت تواتر الرقائق بواسطة انتقال كاتي وفقاً لمبدأ طرحه ي . ي . رابي Rabi منذ سنة 1940 .

وقد ثبتت « الساعات الذرية » الأولى بواسطة خط امتصاصي ، وعلى أساس هذا المبدأ صنع

هـ . ليونس Lyons سنة 1949 ساعة على الأمونياك ، ثم ساعة على الكايسيم (معدن قلوي) . وهي خالية من الانحراف ، ولكن ثبوتيتها المحدودة بعرض خطوط الامتصاص محصورة بين الثبوتية ذات الامد القصير والثبوتية ذات الامد الطويل في ساعات الكوارتز .

ومن أجل تحسين الثبوتية يجب العمل بواسطة المعايير الثابتة التي تحدد عرض الخطوط : اصطدامات واضطراب حراري : إن إحدى الطرق تقوم على استعمال نافورة جزئية أو ذرية : وهكذا حصل زكريا Zacharias ومعاونوه على نتائج ممتازة بواسطة « الأتوميكرون » (أو الذرة المصغرة) وقد صنعه سنة 1955 . واستعملوا طريقة رابي المستمدة من تجربة شهيرة قام بها سترن Stern وجرلاخ Gerlach سنة 1921 . وطريقة رابي وضعت لدراسة الاقطاب الثنائية الكهربائية والمغناطيسية ، في مجال المطيافية الهertzية (راجع الفصل السابق) .

وتدل هذه التجربة على أنه بالإمكان فصل الجزيئات ذات الطاقة الأكثر ارتفاعاً : وعندما تكون هذه الجزيئات أكثر عدداً نحصل على نظام يبعث الاشعاع . وإن نحن اسفلنا فوتوناً ذا تواتر ارتدادي فوق ذرة محثوة ، هذه الأخيرة تبث فوتوناً ثانياً من ذات التواتر يعود فيسقط إلى مستوى أدنى : وعندها يقال إننا حصلنا على بث محثوث بالنسبة إلى البث العفوي العادي (انشتين سنة 1917) . وبشكل النظام عندئذ مضخماً يشار إليه بكلمة مازر نقلاً عن أوائل الكلمات في العبارة الأميركية : Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (تضخيم التواترات العالية بالبث المحفز للاشعاع) . وحقق ك . تونس . C. Townes ، وج . غوردن J. Gordon وهـ . زيغر H. Zeiger أول « مازر » Maser ، سنة 1954 ، باستعمال خليط أمونياك ارتدادي . في هذا الجهاز ، تتغزل ذرات محفورة من نافورة أمونياك بحقل كهربائي غير متسق ، ثم أنها تتجاوز طاسة مرجعة حيث تضخم موجة ذات تواتر عالٍ : وإذا كان عددها كبيراً بشكل كافٍ فالجهاز بشكل مؤرجحاً ذاتياً متناهي الاستقرار يمكن أن يستعمل كساعة ذرية .

هذه التجهيزات وغيرها مما هو قيد الدرس أتاحت تحسين قياس الوقت إلى حد كبير . ويمكن لمارز من الهيدروجين الذري ، اقترحه ن . ف . رامسي N.F. Ramsay أن يسجل درجة ثبوت مقدارها (10^{-13}) . وكانت النتائج الحاصلة دقيقة لدرجة ارتؤي معها تحديد الثانية بتواتر انتقال ذري ، كما جرى حديثاً تعريف المتر انطلاقاً من موجة ضوئية . إلا أنه لا بد من اتخاذ الحيطة الكبرى ، ويجري البحث بنشاط عن الانتقال الذي - بحكم استقلاله الكبير جداً عن الظروف الخارجية - يعطي أفضل تحديد للثانية .

تضخيم الاشارات الضعيفة بواسطة المازر - (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) - إن فكرة البث المحفز ، التي هي ركيزة عمل المازر ، ادخلها انشتين سنة 1917 ، في دراسة حول توازن المادة - الاشعاع .

في نظام متوازن من الناحية الحركية يتم توزيع الجزيئات أو الذرات ، بين مختلف المستويات الكمومية وفقاً لقانون بولتزمان Boltzmann ، باعتبار أن حالات الطاقة الدنيا هي المألوفة أكثر . فالجزيء الذي يكون في حالة E_2 ، حيث يوجد عدد N_2 من الجزيئات ، يمكن أن

يسقط إلى مستوى أقل E_1 ، باناً فوتوناً ذا تواتر : $\nu = (E_2 - E_1)/h$. إن الطاقة المبثوثة بخلاف الوحدة من الوقت تكون متناسبة مع N_2 . وبالعكس إن اسقطنا على الجهاز عدداً (n) من الفوتونات ذات تواتر ارجاعي ، فالطاقة المستوعبة بخلاف وحدة الوقت ، بخلاف انتقال الجزيء من مستوى E_1 إلى مستوى E_2 ، تتناسب ، بأن واحد ، مع جمهور N_1 من المستوى E_1 ومع عدد الفوتونات n . يفترض انشتاين أن نظام الجزيئات يوضع في حوزة متوازنة حرارياً وحركياً : في مثل هذه الحوزة ، يتم الحصول على العدد (n) من الفوتونات ذات التواتر ν بفضل قانون بلانك Planck بالنسبة إلى اشعاع الجسم الاسود . في حالة التوازن بين نظام الجزيئات والاشعاع ، يجب أن يتكافأ بث وامتصاص الفوتونات . من السهل أن نرى أن البعث العفوي لا يكفي لمواجهة الامتصاص . وبالفعل إذا كانت درجة الحرارة مرفوعة جداً ، فإن كثافة الفوتونات تصبح كبيرة جداً : وكما كان العدداً N_1 و N_2 متجاورين جداً ، فإن الامتصاص يتغلب . ولا يمكن اقرار التوازن إلا بافتراض وجود نمط آخر من البث يتناسب مع كثافة الفوتونات : وهذا هو البث المحثوث أو المحفوز . وتدل الدراسة الكمية لهذا التوازن على أن احتمالية قيام جزيء من حالة E_1 بانتاج فوتون بالبث المحثوث تعادل احتمالية امتصاص فوتون من قبل جزيء من الحالة E_1 ؛ وتدل الدراسة الكمية أيضاً على أن احتمالية البث المفاجيء تتغير بتغير مكعب التواتر . ثم أن البث المفاجيء ، وهو عملية طبيعية لانتاج الضوء ، ضعيف جداً من حيث الذبذبات العالية .

ويدل تحليل التوازن «مادة - اشعاع» على أنه - في مادة بحالة عادية - تكون المستويات لدينا هي الأكثر أهلاً ، ويكون الامتصاص أقوى من البث المحثوث . وللحصول على التضخيم ، يجب «عكس» الجماهير في المستويات . وغزيلة الحالات المحثوثة في نوافير الجزيئات تتيح التوصل إلى التضخيم . ويمكن أيضاً استعمال طريقة «الضخ» التي تُعجل ثلاثة مستويات من الطاقة ، وبواسطة موجة ضخ ، تمر الذرات من المستوى الأدنى E_1 إلى المستوى الأعلى E_3 . وإذا كان هذا المستوى الأخير أكثر أهلاً من المستوى الوسط E_2 ، يمكن أن يحدث تضخيم عن طريق البث المحثوث للفوتونات بين E_3 و E_2 ؛ وقد يحدث أيضاً أن يصبح المستوى E_2 أكثر جمهوراً من المستوى E_1 ، مما يتيح تضخيم موجة ذات تواتر انتقالي بين E_2 و E_1 . وقد استحدثت هذه الطريقة ، من أجل المضطيف الهرتزي من قبل كاستلر Castler ، وبيتر Bitter وروسل Brosel سنة 1950 ، تحت اسم الضخ الابصاري ، وموجة الضخ تكون من الضوء المكثف .

في المضخم ، يُرْعَب باستحداث قوة أكبر في الساعة : ولهذا توجد مصلحة في اختيار وسط ناشط بحالة الجمادية ، بحيث يمكن التحكم بكثافة أكبر من الباثات الاولى . في سنة 1955 قام الروسيان باسوف Basov وبروخوروف Prokhorov ، وبالاستقلال عنهما في سنة 1956 الاميركي N. Bloembergen ، باقتراح تضخيم التواترات العالية بواسطة مازر ذي ثلاثة مستويات ، باستخدام المستويات المنخفضة التي وضعها زيمان مستعملاً ملحاً متوازي المغناطيسية ، وكان الضخ هو أيضاً يتم في التواترات العالية . وفي سنة 1957 قام هـ . سكوفيل H. Seovil وج . فيهر G. Feher وهـ . سيدل H. Seidel بوصف أول مازر من هذا النوع : إن العنصر الناشط هو بلورة من ايتلسوفات اللاتان ، حيث كان قسم من ايونات اللاتان قد استبدل بايونات متوازية المغناطيسية من الغادولينيوم .

وأثر العديد من الظواهر على اختيار المادة . وهكذا كان حال تفاعلات « الاسترخاء » ، أي كل الظواهر التي تنزع إلى تفريغ المستويات العليا وإلى استجلاب التوازن الحراري الحركي عن طريق تفريغ فائض الطاقة من الجزيئات المحتوتة في الوسط المجاور . ولتخفيض تأثيرها ، يتوجب استعمال المازر ذي الملح المتوازي المغناطيسية بدرجة حرارة الهليوم السائل . هذا العائق الخطير بالنسبة إلى المستعمل هو مكسب من وجهة نظر الضجّة . وهكذا حصل ماك ورتنر Mac Whorter وماير Meyer منذ سنة 1958 على درجة حرارة مساوية للضجّة الأقل من 20°K بواسطة مازر متوازي المغناطيسية ذي أيونات من الكروم .

في هذا المازر ، كما في مازر سكوفيل Scovil ، وضعت المادة الناشطة ضمن تجويف ذي رجح ، مما لا يتيح تضخيم غير حزمة ضيقة جداً من التواترات . وتم ادخال تحسين ملحوظ على مازر ذي موجة متصاعدة وصفه سنة 1959 دي غراس de Grasse ، وشولز-دوبوا Schulz-Duhois وسكوفيل : وتم الحصول على زيادة عرض الشريط أو الحزمة باستبدال التجويف بخط دوري ، من نمط حزمة الأنابيب ذات الموجة المتصاعدة . وبلغت درجة حرارة ضجّة مثل هذا المازر ، باستخدام ياقوتة كمادة ناشطة ، معدل 2°K ، وضجيجها ضعيف إلى درجة أنه هو ينغطي بالضجّة التي تحدثها الاطواق ، إذ لم تتخذ الحيفة القصوى . إن الانجازات التي حققها المازر فتحت بالتالي امكانات جديدة أمام تقنيات الرادار والاتصالات السلكية وأكثر من ذلك أمام علم الفلك الاشعاعي حيث تؤخر كل زيادة في حساسية اللاقطات حدود الكون المتناول .

VIII - مرور التيار الكهربائي في الاجسام الجامدة

في حين كانت دراسة خصائص العازلات الكهربائية والمواد المغناطيسية - المتزاوجة مع التقدم في التواترات العليا - تؤدي إلى اكتشاف المازر ، كانت الاعمال الجارية حول التوصيلية الكهربائية في الاجسام الصلبة ، المستعادة ابتداء من سنة 1926 ، تؤدي إلى اختراع الترانزيستور ، الامر الذي أحدث ثورة حقّة في تطبيقات الالكترونيك .

نظرية الالكترونيات في المعادن سنبدأ لسومرفلد Sommerfeld - رغم نجاح نظرية درود Drude ، اكتشفنا عدة نشازات تخالف التجربة ، ولم تنجح الحسابات الاكثردقة التي قام بها لورنتز Lorentz إلا في تفاقمها . تفترض نظرية درود - لورنتز وجودغاز من الالكترونيات الحرة في المعدن . وكان من الطبيعي التصدي لهذه الفرضية لأن الكثرونات المعدن لم تتوجد في فضاء متوازن الترخم ، بل في زخم دوري خلقته ايونات الشبكة . في هذه الإثناء عاد سومرفلد إلى فرضية الالكترونيات الحرة وإلى حسابات لورنتز عندما ظهرت سنة 1926 نظرية فرمي Fermi وديراك Dirac ، حول السلوك الثبوتي للالكترونيات .

وباستخدام مبدأ الاستبعاد الذي وضعه بولي Pauli ، وبموجبه يمكن لالكترون واحد أن يحتل كل حالة محددة بجملة من الاعداد الكمية ، بين فرمي Fermi بأن الالكترونيات تتوافق مع احصاء مختلف عن احصاء كانتا الضوء والغازات المادية ، المندروس من قبل بوز Bose ، ومن قبل انشتين قبل ذلك بستين . ولا تشكّل صيغ الاحصاء الكلاسيكي إلا مقاربة ، وينطبق هذا على

احصاء بوز- انشتين كما على احصاء فرمي - ديراك . ولا تصلح هذه الصيغ عندما يكون غاز الجزيئات « تالفاً » أي عملياً في التركيزات القوية وفي درجات الحرارة المنخفضة .

وبافتراض وجود الكترون حر في كل ذرة ، تسهل رؤية « التخلف أو التلف » في غاز الالكترونات الحرة في معدن ما . وإذاً يتوجب أن ينطبق على هذا الغاز احصاء فرمي ، مما يعطي في الحال نتائج مفيدة . في الصفر المطلق تملأ الالكترونات المستويات الدنيا من الطاقة ، إلى حد طلب « مستوى فرمي » . عندما ترتفع الحرارة تتغير طاقة الالكترونات المجاورة لمستوى فرمي وحدها ، وبالتالي ، عندها تتغير فقط مساهمة الالكترونات في حرارة الجسم النوعية ، وهذا يتوافق مع قانون دولونغ وبتي ؛ وهذه المساهمة ، تتناسب مع درجة الحرارة ، وبالتالي ، فهي تنعدم في حالة الصفر المطلق ، مما يوافق قانون نرنست Nernst حول الحرارة المتحركة .

ولدراسة توصيل الكهرباء والحرارة قام سومرفيلد بالعودة إلى طريقة لورنتز . وتوزيع الالكترونات في الفضاء الفيزيائي وفي فضاء السرعات ، يمكن الحصول عليه بواسطة « دالة التوزيع » التي يخضع تطورها في الزمن لمعادلة بولتزمان في النظرية الحركية .

وفي حالة الغازات ، تعطي هذه المعادلة دوراً مهماً للتصادمات التي تعيد التوازن الحراري الحركي ، يتميز بدالة توزيع مكسويل في الاحصاء الكلاسيكي . وفي حالة غازٍ من الالكترونات منحلٍ ، أخذ سومرفيلد كتوزيع للتوازن التوزيع الذي قدمه احصاء فرمي . أما حد تصادمات معادلة بولتزمان فقد عبر عنه بواسطة مسار حُرٍ متوسط بين صدامين . وعندها استطاع أن يحسب كيف تتخرب وظيفة التوزيع من جراء تطبيق حقل كهربائي أو من جراء تغير في درجة الحرارة أو تغير في تركيز الالكترونات على طول الموصل . وباستخراج التوصيلين الكهربائي والحراري كما هو الحال في نظرية لورنتز نجد أن العلاقة بينهما ثابتة ، في درجة حرارة معينة ، كما يقضي بذلك قانون وايدمان وفرانز التجريبي ، والتوافق الكمي مع التجربة يكون أفضل مما هو عليه في النظرية الأساس التي قال بها درود . والنظريتان كذلك تفسران المظاهر الحرارية الكهربائية ، ولكن مستوى ضخامتهما ، في نظرية سومرفيلد أقل مما هو عليه في نظرية درود- لورنتز ، وهو أكثر توافقاً مع التجربة وبالمقابل لا يظهر تغير التوصيلية بتغير درجة الحرارة ، بشكل واضح في معادلة سومرفيلد : لآظاهرة ، لا بد من توضيح مفهوم المسار الحر الوسطي للالكترونات داخل الجسم الجاندة .

وقبل معالجة هذه المسألة نذكر أن النظرية الجديدة تفسر بشكل صحيح استخراج الالكترونات من المعادلة . إن احصاء فرمي يتيح مباشرة العثور على قانون ريشاردسون ، المعدل من أجل البث الحراري الايوني : $i = AT^2 \exp(-b/T)$ ، في حين لا يستطيع الاحصاء الكلاسيكي اعطاء قانون غير القانون المبني على $T^{1/2}$. وقد رأينا مع ذلك أن ريشاردسون Richardson وتيتروود Tetrode ودوشمان Dushman قد حصلوا على القانون المعدل قبل ظهور احصاء فرمين ، وذلك بفضل تحليلات في الحرارة المتحركة (الترموديناميك) باستعمال الثابتة الكيميائية في الالكترود ، المحسوبة سندا لأعمال ساكور Sackur وتيتروود Tétrode ، وهذه الأعمال ارتكزت على مبدأ نرنست .

وأخيراً يقدم الميكانيك التومجي تفسيراً لواقعة لوحظت قبل ذلك بعدة سنوات مفادها : عندما نرفع توتر الآنود ، فإن التيار الحراري الأيوني لا يتشبع تماماً ، كما يوحي بذلك قانون ريشاردسون ، إذ يستمر التيار في الارتفاع الخفيف . ويفسر الميكانيك التومجي بخصوصية ليس لها مثيل في الميكانيك الكلاسيكي : عند وجود حقل كهربائي ضاغط على سطح المعدن يتخذ حاجز الزخم الكامن سماكة متناهية وتستطيع الموجات الالكترونية خرقه ، حتى ولو لم تكن الالكترونات ذات طاقة كافية للتغلب على هذا الحاجز أو القفز فوقه . ويفسر « مفعول النفق » ذاته ، في الميكانيك التومجي كيف يمكن لرأس بارد رفيع أن يثب الالكترونات تحت تأثير حقل كهربائي مرتفع ، وهي ظاهرة رصدها وود Wood منذ سنة 1898 . ويتسجم قانون « بث الحقل » الذي توصل إليه فولر ونوردعيم Nordheim سنة 1926 بفضل الميكانيك التومجي ، مع النتائج التجريبية التي قام بها ميليكاني Millikan وبيرينغ Eyring سنة 1926 . ويصعب تطبيق بث الحقل ، عملياً ، ولكنه يستخدم في بعض المجاهر الالكترونية ، كما أن دراسته عادت من جديد واستولت على الاهتمام منذ سنة 1950 ، وذلك من أجل تطبيقها احتمالياً في الأنابيب الالكترونية .

مسار الالكترونات الحر الوسطي داخل المعادن - منذ سنة 1928 بإشر العديد من المؤلفين دراسة المسار الحر الوسطي للالكترونات داخل المعدن ، وهي دراسة اتاحت حل المسألة الرئيسية التي تركزت في الظل من قبل نظرية سومرفيلد . وقام فرنكيل Frenkel وهومستون Houston وف . بلوخ ، كل على حدة بالاستعانة بالميكانيك التومجي لمعالجة هذه المسألة . ويؤرجعها إلى دراسة بث الموجات الالكترونية عن طريق شبكة التبليز ، يتم الوقع على مسألة مجاورة لمسألة تشتت أشعة X بواسطة البلورات . عند الصفر المطلق تكون ايونات الشبكة في حالة استراحة وإذا افترض البلور نقياً خالصاً فإن انتشار الموجات يتم بسرعة ثابتة بدون تشتت . وعندما ترتفع درجة الحرارة يتغير شكل الشبكة بفعل الاضطراب الحراري الذي يصيب الايونات وعندها يحدث تشتت في الموجات : ولما كانت طاقة الاضطراب الحراري في الشبكة تتناسب مع درجة الحرارة ، وذلك في حالة البعد الكافي عن الصفر المطلق ، فمن الممكن توقع مسار وسط يتناسب مع درجة الحرارة ، ويتناسب بالتالي ، عند تطبيق معادلة سومرفيلد ، مع توصيلية تتناسب عكساً مع درجة الحرارة المطلقة وهذا ما يتوافق مع التجربة . وقبل معالجة مسألة انتشار الموجات الالكترونية في شبكة ذات اضطراب حراري ، يتوجب دراسة الانتشار داخل شبكة دورية كاملة . وفي هذه الحالة الأكثر بساطة ، قدم بلوخ شكل حلول معادلة شرودنجر Schrödinger في الميكانيك التومجي . وفي الحال بدا وجود انعكاس انتقائي للموجات التي تتجاسس مع معادلة براغ : $n\lambda = 2d \sin \alpha$ بين طول الموجة λ ، والمسافة بين الذرات d والزاوية α لاتجاه الانتشار ، مع السطوح الشبكية في الشبكة البلورية ، باعتبار n عدداً صحيحاً .

إن شرط براغ هذا ، المعروف جيداً في دراسة تشتت أشعة X بفعل البلورات قد لعب دوراً أساسياً « في نظرية الحزمات أو الاشرطة » . ومع ذلك يدل الحساب البسيط الجاري بالاستناد إلى توزيع فرمي ، على أنه - في حالة بلورة معدنية مثل الفضة - تزيد أطوال الموجات الالكترونية في كبرها فلا يمكن معها حدوث انعكاس انتقائي . ضمن هذه الشروط تنتشر هذه الموجات بدون أن

تضعف ، داخل الشبكة الكاملة . وهكذا يفسر التأويل التموجي وجود الكثرونات حرة داخل شبكة بلورية في حين تبدو هذه الالكثرونات - في النظرية الجسيمية - وكأنها نفعل ، « فعل كرة تقذف لعبة اوتاد » ، بحسب عبارة ل . بريلوين .

ويعطى حساب للاضطراب الحراري في الشبكة وذلك عند احتساب الاضطراب الذي يحدثه هذا الاضطراب بالنسبة إلى الانتشار داخل البلور النقي في درجة الصفر المطلق . ولهذا يجب اعمال تقفات الايونات بشكل موجات مطاطة سبق ودرست قبل ذلك بعشر سنوات تقريباً . ويتوجب الأخذ في الحساب واقعة أن طاقة هذه الموجات المطاطة تكتم : وكميتها الطاقوية التي تسمى الآن « فونون » تخضع لاحصاء بوز- انشتين . ومن جهة أخرى وسنداً لمبدأ بولي الاستبعاد يمكن لالكثرون واحد أن يوجد داخل خلية أولية في فضاء السرعات : وبالتالي ، وأثناء « التصادم » لا يستطيع الالكثرون أن يحتل خلية إلا إذا كانت هذه الخلية حرة ، ومعاذل عملية التصادم التي قال بها لورنتر وسومرفيلد ، هو انتقال الكثرون من خلية أخرى مع إيجاد أو امتصاص فونون أي مع حدوث أو امتصاص كمية من الطاقة الحرارية الموجودة في الشبكة . وهذا هو حد التفاعل بين الالكثرونات واضطراب الشبكة الذي يجب نقله أو تأجيله في معادلة بولتزمان بدلاً من معامل أو صانع الاصطدام . وبواسطة هذه الطريقة ادت اعمال بلوخ وهوستون ، المستكملة بأعمال بريلوين ، إلى الاستنتاجات التالية التي ثبتت تقريباً بصورة تجريبية بالنسبة إلى غالبية المعادن النقية : في درجات الحرارة الاستعمالية تتناسب المقاومة مع درجة الحرارة المطلقة T ؛ وفي درجات الحرارة التي تقل « عن درجة حرارة ديبي » في نظرية الحرارة النوعية ، في الجوامد ، تكون درجة الحرارة المطلقة متناسبة مع T^5 . وفي سنة 1931 بين نوردهيم أن عيوب الشبكة البلورية والشوائب تدخل مقاومة إضافية ، بمعزل عن درجة الحرارة . وبالمقابل لا تظهر هذه النظرية شيئاً مماثلاً للتوصيلية المتفرقة : إن الإبطال المفاجيء للمقاومة ، عند الاقتراب من الصفر المطلق ، وهو الأمر الذي رصده كمرلينغ اونس سنة 1911 ، قد بقي لمدة طويلة وما يزال أحد أسرار الفيزياء .

نظرية الضمم : العازلات والموصلات النصفية - تدل دراسة حركة الالكثرون داخل بلور ، أو بصورة أولى دراسة انتشار الموجة المقترنة به ، في الميكانيك التموجي انه ، نتيجة دورية الشبكة البلورية ، يتوجب أن تكون طاقة الالكثرونات محصورة ضمن ضمام ، تتطابق حدودها مع اطوال موجات تتناسب مع شرط الانعكاس الانتقائي الذي قال به براغ : وهذه الحدود القصوى تعينها دراسة « مناطق بريلوين » ، أساس الفيزياء الحديثة حول الجوامد . وبين ضمم الطاقة المسموح بها تمتد ضمم أو أحزمة ممنوعة وعندما تأخذ بالحسبان واقعة كون البلور محدوداً ، ولا يحتوي إلا على عدد من الذرات N ، نجد أن كل حزمة أو ضمة تحتوي على عدد N من مستويات الطاقة الخفية ، المتقاربة جداً ، وكل واحد من هذه المستويات يمكن أن يحتوي على الكثرون واحد . ويمكن أن تفسر لانتسنا منشأ هذه الضمم عندما نتصور أخذنا لعدد N من الذرات يبعد بعضها عن بعض ثم نقرنها فيما بينها : ونتيجة تفاعلها فيما بينها ينقسم مستوى الذرة المعزولة الكمي إلى عدد من المستويات N تشكل حزمة أو ضمة .

إن نظرية الضم - التي عرفها ستروت Strutt سنة 1927 ، وطوّرها العديد من المؤلفين ومنهم بلوخ وبريلوين وبيرلس Bierls ومورس - أعطت مفتاحاً للتمييز بين العازلات والموصلات ، وبين الإلكترونات المرتبطة ، والإلكترونات نصف الحرة ، خاصة على أثر الاعمال التي قام بها آ . هـ . ويلسون Wilson سنة 1913 . والفكرة الأساسية هي أن الضمة المملوءة تماماً لا تشارك في التوصيل : فالمستويات المجاورة لمستويات الإلكترون كلها مشغولة ، والحقل الكهربائي لا يستطيع أن يعطي هذا الإلكترون طاقة كافية لكي يجتاز الشريط الممنوع وبالتالي يكون الجسم الذي لا يحتوي إلا على شرائط كاملة ، جسماً عازلاً . وبالعكس أن الجسم الذي يمتلك شريطاً غير كامل الامتلاء يكون جسماً موصلًا : ويكون الشريط المملوء نصفياً هو شريط التوصيل .

وهناك حالة ثالثة يمكن أن تعرض هي حالة الموصلات النصفية . وبالمعنى المذكور أعلاه أنها أجسام عازلة في درجة حرارة منخفضة ، ولكنها تمتاز بخصوصية تملك شريط محظور ضيق فوق الشريط الأخير الممتلئ ، إنه الشريط الذي يشكل « شريط الصلاحية أو التكافؤ » . وأيضاً عندما ترفع درجة الحرارة يعمل الاضطراب الحراري في الشبكة على تمرير الكترون من شريط التكافؤ إلى الشريط الذي يليه مباشرة ارتفاعاً ، ويسمى « شريط التوصيل » . ويترك هذا الإلكترون مكاناً فارغاً (نقياً) داخل شريط التكافؤ . وفي الشبكة البلورية يحدث كل شيء كما لو أن جزيئة إيجابية قد ظهرت في النقطة المقابلة : وفي الواقع أن إيجاد زوج الكترون - ثقب هو معادل التأين في الغازات ، فيفصل الكترون عن الذرة . ويمكن للثقب أن تنتقل داخل الجسم الصلب دون أن يكون هناك حركة في الايون : ويأتي الكترون آخر من شريط التكافؤ ليأخذ المكان الحر ، شاركاً نقياً آخر في مكان آخر . وهكذا تنتشر الإلكترونات والثقب داخل البلور ، كلما انتشرت الايونات داخل تفرغ غازي ، ثم بعد حقبة من الحياة تعود فتندمج . وعندما تطبق حقلاً كهربائياً ، تشارك الإلكترونات المتنقلة إلى شريط التوصيل ، والثقب التي أحدثتها في شريط التكافؤ ، في عملية التوصيل . والثنامي السريع جداً في عدد الأزواج الكترون - ثقب مع تزايد درجة الحرارة يحدث خصوصية تميزية في الموصلات النصفية : إن المقاومة الكهربائية تتناقض عندما ترتفع درجة الحرارة .

هذه الأجسام المسماة « نصف موصلة ضمية » هي أجسام نقية أمثال عناصر العالومود الرابع في جدول منداليف Mendéléev ومنها الجرمانيوم والسليسيوم وهما الأكثر استعمالاً . وهناك أيضاً « موصلات نصفية خارجية » وتعود خصائصها إلى وجود شوائب .

وإذا أدخلنا شائبة من المجموعة الخامسة مثل الأنثيموان أو الانديوم ، في بلورة من السليسيوم ، فإننا ندخل الكترونات إضافية . وهذا الأخير ضعيف الالتباط ويمكنه أن يتقل إلى داخل شريط التوصيل : ومثل هذه الشائبة تحدث توصيلية زائدة بفضل زيادة الإلكترونات ، وتسمى توصيلية « النمط n » . وبالعكس إن أدخلنا شائبة من المجموعة الثالثة مثل البور bore فإننا نترك مكاناً شاغراً أمام الكترون ما : ومنذ أن يأتي الكترون من ذرة من السليسيوم ليحل في هذا المكان الشاغر ، يحدث ثقب في شريط تكافؤ البلور ، وعندها يمتلك البلور توصيلية نتيجة نقص

الالكترونيات تسمى « النمط p » . وتدخل ذرات الشوائب مستويات إضافية تقع داخل الشريط المحظور : وفي الموصلات النصفية من « النمط n » ، توجد « مستويات تعطي » الالكترونيات ، الواقعة بجوار شريط التوصيل ؛ وفي الموصلات النصفية من « النمط p » ، توجد « مستويات لافطة » تقع إلى جوار شريط التكافؤ . إن خصائص البلورات مرهونة بقوة بوجود الشوائب : ثم أن عمليات التنقية وإضافة الشوائب - وتسمى هذه العملية الأخيرة : « إشابة » - تلعب في تكنولوجيا الموصلات النصفية دوراً يشبه دور تقنية الفراغ بالنسبة إلى الانابيب الالكترونية .

ومن سنة 1928 إلى سنة 1932 تقدمت نظرية توصيل الكهرباء في الجوامد تقدماً مشهوداً ، وقد وُجدت تفسيرات لخصائص الموصلات النصفية . لا شك أنه ما زالت هناك نقاط تفصيلية يجب توضيحها ، ويتوجب أيضاً تكيف تحليل الظواهر الكهربائية مع تطور شكلانية الميكانيك الكانتية أو الكمي : وهذا التطور كان سريعاً جداً إلى درجة أنه بعد خمس سنوات من سنة 1930 أصبح من الصعب التعرف على حسابات سنة 1930 بأشكالها الجديدة ، رغم أن الأفكار الأساسية بقيت كما هي .

المقومات والموصلات النصفية - إن التقدم في معرفة أوالية التوصيل الكهربائي في الجوامد ، ظهر على الصعيد العملي حوالي سنة 1950 مع ظهور الترانزيستور . واصل هذا الجهاز يعود قبل ذلك إلى المقومات التي استعمل بعضها منذ بداية هذا القرن .

في حوالي سنة 1920 بُدئ باستعمال « المقومات الناشئة » لتحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر . وتتكون هذه الأجهزة التي ما زالت في الاستعمال من صفيحة معدنية مغطاة بطبقة موصلة نصفياً : إن المزدوجات نحاس - اوكسيد النحاس والحديد - سيسليوم هي الأكثر انتشاراً .

وفي محاولة شرح عملها جرت الاستعانة في حوالي سنة 1930 بأوالية سبق استعمالها في نظرية فروقات الزخم الموجودة عند تماس معدنين . وفي حالة التوازن يتوجب على نفس العدد من الالكترونيات أن يجتاز سطح الفصل بالاتجاهين وعندما تختلف اعمال خروج المعدنين ، يفترض تحقيق هذه الحالة من التوازن إقامة فرق في الزخم ، في صورة عفوية عند تماسهما ، وهكذا ينشوء حاجز الزخم المستحدث ، تشوها غير تناظري بحسب ما يطبق عليه فرق زخم بهذا الاتجاه أو ذاك . وينتج عن ذلك أنه من السهل تمرير التيار في أحد الاتجاهين . هذا اللاتناظر الكهربائي ، الخفيف جداً عند تماس المعدنين ، يصبح قوياً بما فيه الكفاية عند تماس بعض المعادن مع بعض الموصلات النصفية ، بحيث يمكن استخدامه ، أي اللاتناظر ، في المقومات الصناعية (المحولات) . في سنة 1939 بحث ن . ف . موت Mott في إمكانية توضيح نظرية هذه المعادن ، فدرس كيفية تغير توزيع الالكترونيات داخل الموصل النصفى عند مجاورة المعدن وهذه النظرية رغم تحسينها على يد شوكتي وبيت Bethe لم تكن أهلاً لتوضيح كل الوقائع المرصودة . ودراسة المقومات الجامدة قد انضغدت من جهود الحرب التي بذلت حول الرادار . ولما كانت الأنابيب الفراغية « ديود » تعطي نتائج سيئة في حالات التواترات العالية ، كان لا بد من العودة إلى جهاز قريب من اللاقط المصنوع من كبريت النحاس (غالين) . هذا اللاقط المتكون من رأس

معدني مرتكز على بلورة من سولفور الرصاص ، كان يعتبر واحداً من أفضل اللاقطات قبل ظهور أنابيب الفراغ المتماذي . واشتقت اللاقطات التواترات العالية منه وذلك باستبدال سولفور الرصاص ببلور السيلسيوم الأحادي وتحقق بخلاف الحرب العالمية الثانية ، تطوير هذا الجهاز بفضل مساهمات عدة ، غالباً ما كانت مجهولة الفاعلية . ومن بين أهم المساهمات نذكر إنتاج السيلسيوم الذي يحتوي أقل من 1/1000 من الشوائب على يد سيتز Seitz سنة 1942 ، ثم ادخال كميات قليلة جداً من البور إلى السيلسيوم على يد تيورير Theurer سنة 1943 .

وبدأت الوقت تم عمل مهم تناول الجرمانسيوم ، في الولايات المتحدة في جامعة بورديو Purdue ، وفي جامعة المختبرات الصناعية لشركة بل تلفون Bell Telephon وجنرال الكترنك . وقام باحثو جامعة بورديو بأشرف لارك - هورويتز Lark-Horowitz ، بالحصول على نتيجة رئيسية وذلك باستحداث منطقة p ، ومنطقة n في نفس تقويم التيار . واعملت نظرية « الوصلات » التي قدمها و شوكل في تموز سنة 1949 الالكترونيات والثقوب بأن واحد . وقد نسرت بصورة كاملة خصائصها التقويمية المستعملة اليوم بشكل شائع : فالانابيب « ديود » نصف الموصلة أصبحت تصنع لتجهيز المعدات الكهربائية الإشعاعية ، وفي صناعة الحاسبات الالكترونية .

وفي عمل الوصلات يقوم بدور أساسي فيها ، انتشار الالكترونيات والثقوب من منطقة ذات تركيز قوي نحو منطقة ذات تركيز ضعيف . إنها ظاهرة تشبه الظاهرة التي عُثر عليها ، منذ بداية نظرية السوائل التحليلية (الكتروليت) والغازات المؤينة : وفي جميع الأحوال نجد دائماً نفس العلامة التي قال بها انشتين بين معامل الانتشار والحركية . وعلى هذا تنتشر الالكترونيات الحرة ، الأكثر عدداً في المنطقة n باتجاه المنطقة p في حين تنتشر الثقوب باتجاه معاكس . ويبقى إذاً في المنطقة n في جوار « الوصل » فائض من الايونات الايجابية ، وفي المنطقة p فائض من الايونات السلبية : وتشكل هذه الايونات حاجزاً فضائياً مشحوناً يسود فيه حقل كهربائي . في حين تبقى بقية البلور متوازنة الزخم . ويفسر تغير هذا الحاجز ، عندما نطبق فارقاً في الزخم على أطراف الوصل ، خصائص التقويم .

وتمتلك الوصلات أيضاً خصائص كهروضوئية رائعة . وفي هذا الشأن يمكن لفوتون دخل إلى نصف موصل أن يمرر الكتروناً من شريط التكافؤ إلى شريط التوصيل ، محدثاً بذات الوقت ثقباً . وينتج عن ذلك أن وصلاً يوجد عفوياً عند اطرافه فرق في الزخم يستطيع أن يولد تياراً في طوق خارجي عندما يخضع للاضاءة . وتشكل هذه الظاهرة الاثر الضوئي الفولتي الذي رصده سنة 1959 ي . بيكريل عند ملامسة الكترود من البلاتين بمحلول من الاسيد الكبريتي . وتطبق خاصية الوصلات هذه في صنع البطاريات الضوئية .

ويفسر إيجاد المزدوجات الكترون - ثقوب بواسطة الفوتون زيادة التوصيلية في الموصلات النصفية عندما تخضع للاضاءة : وتسمى هذه العملية بالتوصيلية الضوئية وقد شوهدت في الميلينيوم منذ سنة 1878 بفضل و . سميث . ويومئذ لم تعط اهمية علمية ، إلا قليلاً ، لنتائج التجريبية التي اجريت على مختلف المواد ، إلى أن جاء هيلش Hilsch وبوهل Pohl فقدما نظرية

هذه الظاهرة في سنة 1937 ولكن هذه الدراسة الاخيرة قلما جذبت الانتباه مما اضطر بوهل وستوكمان Stöckman إلى نشر دراسة ثانية حول هذا الموضوع سنة 1947 . وابتداءً من هذا التاريخ عرف التوصيل الضوئي وكأنه خاصية اساسية في الموصلات النصفية التي يعتبر فيها خلق مزدوج « الكترون - ثقب » بواسطة فوتون ، معادلاً لتأين غاز بواسطة المفعول الكهرضوئي . إن دراسة مدة حياة المزدوجات الكترون - ثقب المحددة على هذا الشكل ، كانت مصدراً مهماً للمعلومات حول خصائص المادة نصف الموصلة . وللتوصيلية الضوئية أيضاً تطبيقات عملية منها : بواسطة مواد مثل سولفور الرصاص يمكن صنع خلايا حساسة تجاه الضوء تتيح التقاط الاشعاع تحت الاحمر . واستعملت هذه الخاصية أيضاً في أنبوب جديد لالتقاط الصورة التلفزيونية اسمه الفيديكون .

الترانزيستور - واهم تطبيق عملي للموصلات النصفية هو يالتأكيذ الترانزيستور الذي أخذ يحتل مكان انابيب الفراغ في استعمالات كثيرة ، خاصة في التواترات المنخفضة . « هذا المثلث الفراغي » (تريود) ، الموصل نصفياً ، تم تحقيقه في بادى الامر بشكل « ترانزيستور ذي رؤوس » وصفه سنة 1948 ج . باردن Bardeen وو . براتين Brattain في « المجلة الفيزيائية » : يوضع متماسان رأسيان شبيهان بالتماسات المستخدمة في المقومات ذات الرأس ، الواحد قرب الآخر (بمعدل ما بين 0,005 و 0,025 سم) فوق السطح الاعلى من كتلة صغيرة من الجرمانيوم . وأحد هذين المماسين مستقطب بالاتجاه المباشر ، ويسمى مرصلاً ، أما المماس الثاني فيستقطب بالاتجاه المعاكس ويسمى لاقطاً . وهناك مماس واسع السطح ضعيف المقاومة ، من الوجه الاسفل ، يسمى قاعدة ، ويشكل العنصر الثالث في المثلث الانبوبي (تريود) .

ويعتبر اختراع الترانزيستور نتيجة اعمال مهمة في فيزياء الجوامد ، وقر لاصحابه وهم شوكلي وباردين وبراتين مكافأة هي جائزة نوبل . ويعتبر هذا الاختراع مثلاً بارزاً في شروط العمل المجموعي داخل المختبرات الكبرى الحديثة .

وقبل الحرب العالمية الاولى شكلت مختبرات شركة بال تلفون Bell Telephone مجموعة من الباحثين لدراسة الالكترونات في الجوامد : وكان وليام شوكلي الذي انضم إلى المجموعة سنة 1936 هو المنظر الرئيسي فيها . وساهم هذا المختبر في مجهود الحرب حول الرادار ، وتابع اعمالاً مهمة حول الجرمانيوم والسيليوم في لاقطات التواترات العالية . وكانت النتائج التكنولوجية الحاصلة ثمينة عندما تمت العودة إلى البحث النظري بشكل أنشط ، ابتداءً من سنة 1945 بعد مجيء ج . باردن . وكان أحد المواضيع المهمة في الدراسة تعديّل مقاومة فيلم رفيع نصف موصل بواسطة حقل كهربائي مطبق بواسطة الكترود معزول عن الفيلم . وكان و . شوكلي يأمل بالتحكم بالتيار في الفيلم بواسطة « اثر الحقل » ، والحصول على التضخيم في أنبوب فراغي . ورصد المفعول المطلوب ، إنما بزخم أقل مما تنبأت به النظرية . ولتفسير هذا الفشل النصفى اقترح ج . باردن نظرية جديدة حول سلوك الالكترونات والثقوب عند سطح الجامد . وللتحقق من هذه النظرية الجديدة ، اضطرو . براتين إلى استكشاف المنطقة المجاورة لتماس رأسي نقطي في معدن نصف موصل بواسطة رأس ثان معدني ؛ وهكذا تم العثور على بنية الترانزيستور ذي الرؤوس . ولم يستخدم المضخم المكتشف هنا مفعول الحقل المبحوث عنه بل استخدام مفعول

« التنقلية » (ترانزيسترانس) الملحوظ عندما يكون هناك تفاعل بين تماسين مقاومين أو بين وصلتين متقاربتين بشكل كاف .

وانطلاقاً من هذا الاكتشاف تسارعت الاحداث . في نيسان سنة 1949 ، أوضح باردين وبرايتن مبدأ تشغيل الترانزستور ذي الرؤوس . وفي تموز من نفس السنة ، وفي المقال الذي عرض فيه نظرية الاتصال $p-n$ درس شوكلي نمطاً آخر من الترانزستور مكوناً من وصلتين قريبتين جداً مستقطبتين باتجاهين متعاكسين ومحفوظتين داخل نفس البلورة نصف الموصلة . ودرس الترانزستور الاول نظرياً قبل أن يحقق عملياً ، وهو يقوم على الوصلات ، وتم وصفه في تموز سنة 1951 من قبل شوكلي وسباركس Sparks وتيل Teal وبخلال ما يقارب العشر سنوات اقتحم بصورة تدريجية غالبية مجالات التطبيق في مجال الالكترونيك والكهرباء الضوئية . ويتألف هذا الجهاز ، مثلاً من منطقة n تشكل الاساس أو الركيزة وتقع بين منطقتين p تشكلان المرسل واللاقط . وتشحن الوصلة « المرسل - القاعدة » بضغط ضعيف في الاتجاه المباشر أما الوصلة « قاعدة - لاقط » فتشحن بضغط قوي بالاتجاه المعاكس . ويتشتر تيار من الثقوب من المرسل نحو القاعدة عبر الوصلة ؛ وبفضل اتفاق ضعيف للطاقة ، يتيح توتر « المرسل - القاعدة » تنظيم زخم هذا التيار . وتعطي القاعدة طولاً ضعيفاً بالنسبة إلى طول الانتشار في هذه المنطقة ، بحيث تستطيع الثقوب الآتية من المرسل اجتياز منطقة اللاقط قبل أن تتم عملية إعادة الدمج . ويكون دور الوصلة « مرسل - قاعدة » قائماً على زرق ثقوب في اللاقط ، وبالتالي اجبار البطارية التي تستقطب الوصلة « قاعدة - لاقط » على تقديم الطاقة . وإذا كان ضغط التحكم تناوبياً ، يمكن الحصول على ضغط أعلى من ضغط التحكم وذلك في اطراف معوق للشحنة يوضع بشكل سلسلة مع المرسل ، وعندها يحصل التضخيم .

ولم يتخل شوكلي عن فكرته حول المضخم ذي مفعول الحقل : فنشر سنة 1952 دراسة عن نموذج « ترانزستور موحد القطب » تمت العودة إلى نظريته سنة 1953 على يد ج . داسي Dacey وي . روس Ross . وطبق هذا المبدأ بصورة مستقلة في « التكنوترون » ، الذي اخترعه سنة 1958 س . تزنير Teszner ؛ والجهاز المحقق بهذه الصورة يمتلك خصائص اقرب إلى خصائص انابيب الفراغ منها إلى خصائص الترانزستور ذي الوصلات . وهناك مضخمات بمفعول الحقل ما تزال قيد الدررس حالياً في العديد من المختبرات .

إن تقدم العناصر الموصلة النصفية يتعلق في قسم كبير منه بتقدم التكنولوجيا بالنسبة إلى هذه العناصر . واستعمال طريقة « تدوير المنطقة » ، في اعداد الجرمانيوم ، على يد و . بفان Pfann قد لعب دوراً مهماً . وطريقة بث الشوائب التي جاءت سنة 1955 تضاف إلى طرق السحب والمزج من أجل اعداد المناطق من نمط n ومن نمط p داخل نفس البلورة ، قد اتاحت تحقيق وصلات متناهية الرقة . وبالتالي الحصول عن طريق الفبركة الصناعية على ترانزستور يعمل بالتواترات العالية حتى حدود 500 مگاهرتز MHz . وبفضل مرولة التكنولوجيا المستعملة في صنع الموصلات النصفية أمكن انجاز دائرة « متكاملة » داخل نفس البلورة من شأنها أن تحل محل جهاز مؤلف من مضخم ومن مقاومات ومن سعات . وظهور « الدارات المتينة » هذه ، وهو أحد الطرق لتحقيق

التصغير الميكروسكوبي للأجهزة ، يشكل بدون شك منعطفاً في الالكترونيات التطبيقية .

الموصلات النصفية في حالة التواترات العالية - إن المقومات ذات التوصيل النصفية ما تزال اللاقطات الوحيدة والخلاطات المستخدمة في مجال التواترات العالية . وبالمقابل كان من الصعب جداً منع مضخمات من هذا العيار بواسطة عناصر ذات توصيل نصفية : ولم تنجح الترانزستورات في مزاحمة الانابيب مزاحمة جديدة فيها إلا أن اكتشاف انبوب فراغي (ديود) من قبل أزاكي سنة 1957 قد أتاح مضخمات ضعيفة .

وقد تميز هذا الديود بوصلة ناعمة للغاية تستطيع الالكترونيات والثقوب اجتيازها « بمفعول التفق » ، كما تباً بذلك الميكانيك التومجي . وعندما يرتفع التيار الذي يقطعها يخف الضغط عند اطرافها : فهي تمثل بالتالي مفعول « مقاومة سلبية » . فإذا رُكب ديود أزاكي في تجويف ما ، مكن من صنع مضخم ، أو موثر ذي تواترات مرتفعة : وفي سنة 1961 توصل ك . آ . بوروس إلى الحصول على ذبذبات طول موجتها في حدود 3 ملم . وهناك أمل أيضاً في استخدامه لصنع ذاكرات الكترونية ذات سرعة عالية جداً في التشغيل .

وفي السنوات الأخيرة تم اكتشاف طريقة أخرى لاستخدام الديودات ذات الايصال النصفية كمضخمات للتواترات العالية . إنها طبقة جديدة من « المضخمات المعيارية التي يركز تشغيلها على خصائص الرادات غير الخطية » .

إن المكون الالكتروني الذي لاقي النجاح الأكبر في تحقيق هذه المضخمات هو ديود نصف موصل درسه بشكل خاص أوهليير Uhler سنة 1956 . وكانت الوصلة الموجهة باتجاه معاكس تشكل طاقة تتعلق قيمتها بالضغط الكهربائي المطبق على حدودها . واختراع هذا الديود ناتج أيضاً عن أعمال جرت من أجل تطوير الرادار . ولتفسير ظاهرات رصدت منذ سنة 1940 ، كان لا بد من التفكير بأن المقومات ذات الرأس بالنسبة إلى التواترات العالية ، يجب أن تكون ذات طاقة غير خطية : وعلى اثر اعمال قام بها باكانوفسكي Bakanovski سنة 1954 حول استخدام هذه الطاقات ، في مغيرات التناوب ، قام أوهليير بدراسة الديودات التي منها صنعت المضخمات المعيارية الأولى ، مضخمات التواتر العالي .

هذه الاجهزة التي درست ابتداء من سنة 1957 في العديد من المختبرات وصلت إلى المرحلة التجارية منذ سنة 1960 ، وفي سنة 1956 قدم مانلي Manley ورو Rowe نظرية التضخيم المعيارية ووضعها المعادلات التي تحكم توزيع الطاقة بين التواترات المختلفة المعمول بها في وسط غير خطي وغير تفتيتي . أما الطاقة الضرورية لتضخيم الاشارات فلا تنتج فيها عن مصدر تيار مستمر كما هو الحال في المضخمات ذات الانابيب وذات الترانزستور ، بل من قبل مصدر امتصاصي ذي تواتر عالٍ : وتقاسم المضخمات المعيارية هذه الخصومية مع المازرات ذات المستويات الثلاثة . وهي تدخل أحياناً المقاومات السلبية في الاطواق أو أنها تحدث تغيرات في التواتر . وهذه المميزات تقتضي تكييفاً لنظرية الشبكات الكهربائية : وهذا التكيف اجراه هوس Haus وإدلر Adler سنة 1958 .

وتكمن فائدة هذه المضخمات ذات الارتداد غير الخطي في امكانية الحصول على درجة

حرارة ذات ضجيج ضعيف حتى في درجة الحرارة العادية ، إذ يمكن تخفيض العناصر المقاومة إلى أقصى حد ، فهي مصدر الضجيج : وقد تم تحليل هذه الفكرة من قبل هافنير Heffner وواد Wade اللذين حسباً درجة حرارة الضجيج الأدنى في المضخمات المعيارية سنة 1958 . وعلى الصعيد العملي تم الوصول إلى درجات حرارة لضجيج من عيار 300°K : وهذه الانجازات كانت أفضل بقليل من انجازات الانابيب ولكنها أقل جودة من انجازات المازرات .

ويوجد أيضاً مضخمات معيارية أخرى . في نيسان سنة 1957 اقترح سوهل Suhl صنع مضخم باستعمال الظاهرات غير الخطية في الحديديات : وقد وصف الانجاز التجريبي من قبل م . ت . ويس Weiss في تموز 1957 . ورغم استمرار الدراسة حوله فإن النتائج الحاصلة في ذلك الوقت كانت أقل جودة من النتائج التي حققتها الديودات ذات الايصال النصفية . ومستقبل هذا المضخم يتعلق بالتقدم الذي يحققه الفيزيائيون حول الجامد المشتمل في صنع الاجهزة المغناطيسية مثل الحديديات أو الحجارة الصوتية . وتم أيضاً صنع مضخمات معيارية ذات ضمة من الالكترونات (أنظر لاحقاً) .

ولا يعتبر ظهور هذه الطبقة من المضخمات إلا مظهراً من مظاهر استخدام الظاهرات غير الخطية المعثور عليها في المجالات الأكثر تنوعاً . ويقدم الميكانيك كثيراً من الامثلة حولها : وأبسط هذه الامثلة هي الأرجوحة التي يمكن زيادة مجال تأرجحها بفضل تنزيل مركز الثقل عند النزول ورفعها عند الصعود مما يشكل « امتصاصاً » ذا تواتر مزدوج في تأرجحات الأرجوحة . وفي القرن التاسع عشر تم أيضاً درس الحث المعباري للدبذبات فوق سطح سائل (فراداي ، سنة 1831) ، وفوق وتر مرتعج (ميلد 1859, Melde) . واستخدمت العناصر غير الخطية منذ بداية البث الكهربائي ، كقاطات ومغيرات للتواتر . ويُعيد 1913 استخدمت الحاثات غير الخطية كمغيرات أو معدلات ، في معدات البث ذات القوس وذات المغيرات التناوية . ولوحظ أن هذه الحاثات تحدث ، ليس فقط ، تغييراً في التواتر بل أيضاً تضخيماً ، مما حمل الكسندرمسون Alexanderson على تسميتها « بالمضخمات المغناطيسية » . وتم التخلي عنها كمعدلات ، نتيجة التقدم في مجال انابيب الفراغ ولكنها بقيت كمضخمات وشاع استعمالها في الآلات المضاعفة القوة . وقبل سنة 1940 درس هارتلي ولادة التأرجحات في الاطواق الكهربائية غير الخطية . ومن أجل استخدام هذه الحاثات كان لا بد من انتظار صنع عناصر غير خطية ذات استعمال سهل من الناحية التقنية : وأدى التقدم في الموصلات النصفية إلى حل هذه المسألة .

نجاح وحلود نظرية استعمال الالكترونات في الجوامد - إن الاكتشافات التي ذكرناها والتي انعكست آثارها في حياتنا اليومية تدل على خصوصية نظرية الموصلات النصفية . فهذه النظرية تفسر ، من الناحية النوعية على الأقل ، الخصائص التوصيلية النصفية في الأجسام البسيطة مثل الجرمانيوم والسليسيوم (الصوان) ، وفي بعض الاوكسيدات وغيرها من المركبات ، وخاصة مزائج من عناصر من المجموعتين الثالثة والخامسة في جدول مندليف مثل زرنيكات الغاليوم والانتيموان مع الانديوم .

وهذه النظرية تحدد الكميات التي تميز مادة معينة ، ويعد قياس هذه الكميات يتيح استباق

معرفة خصائصها الكهربائية في شتى الظروف . وباستعمال الميكانيك التارجمي ، بناء لحسابات هي في الغالب طويلة ومعقدة، يمكن التوصل في بعض الحالات إلى حساب صمم الطاقة ، والمستويات المرتبطة بالشوائب ، وتحرك الالكترونات والثقوب في موصل نصفي .

إلا أن هذه النجاحات يجب الا تخفي الصعوبات خاصة وأن هذه الصعوبات يمكن أن تكون مصدر تقدم جديد . وهكذا يكون التوافق بين النظرية والتجربة في أغلب الاحيان نوعياً أكثر مما هو كمياً . ووجود موصلات نصفية سائلة أو عديمة الشكل يطرح مسألة صعبة لان كل النظرية الحالية ترتكز على دورية الشبكة البلورية . وقد لاحظ رجيل Regel ومعاونوه بان الخصائص الكهربائية في بعض الموصلات النصفية لا تتلقى انقطاعاً عند نقطة الذوبان . وبالمقابل ، عند ذوبان الجرمانيوم ، فإنه يصبح موصلاً في حين يصبح السليسيوم عازلاً . وفي ضوء هذه الوقائع التجريبية اقترح يوفي Ioffé أن ترتيب اقرب جيران ذرة يلعب دوراً أكبر في تحديد الخصائص الكهربائية في جسم ما أكثر مما يلعب توزيع الذرات المتباعدة في ما بينها . من هذه الرؤية يكون من الافضل تفسير تشكل الاشرطة بفعل التفاعل بين الذرات المتجاورة أكثر مما هو بفعل الدورية البلورية : ومن جراء تفسير الدورية لبنية الاشرطة ، لا يمكن الاستنتاج بأن كل جسم ممثل لأشرطة من الطاقة يتميز بتوزيع دوري في الذرات . وسنداً لهذه الفكرة قام ج . ب . سوشيه Suchet سنة 1961 ، بدراسة تأثير الروابط الكيميائية على خصائص الموصلات النصفية ، وبصورة خاصة على التحركات الالكترونية . وبين أن التوصيلة النصفية الداخلية ترتدي مظاهر مختلفة باختلاف طبيعة الروابط بين الذرات وقد طبق هذه التوصيلية النصفية على العديد من المركبات الثنائية والثلاثية . وإنه من الباكر الحكم على نتائج مثل هذه النظرية : إلا أنها تدل على توجه مهم في فيزياء الموصلات النصفية . وليس من الغريب أن تكون النظرية الحالية حول الالكترونات في الجوامد ، غير كافية أحياناً لأنها مركزة على سلسلة من التقريبات . والدراسة الدقيقة للجوامد ، في ضوء الميكانيك التاموجي تقتضي بأن واحد معالجة مجموعتي الالكترونات والنوى كلاً على حدة : وهذا هو التقريب الذي قدمه بورن Born وأوبنهايمر Oppenheimer أو ما سمي بالتقريب الثبوتي الحرارة . ولدراسة مستويات الطاقة الالكترونية يتوجب عندها حل معادلة شرودنجر بالنسبة إلى كل الالكترونات وذلك بأن ندخل فيها الطاقة الكامنة بفعل التفاعل بين كل الكترون وبين النوى المفترض ثبوته وبين الالكترونات في ما بينها . ولما كان هذا الحد الأخير ما يزال معقداً جداً ، جربت تقريبات أخرى : وأكثرها شيوعاً هو تقريب النموذج ذي الالكترون الواحد والذي قدمه هارترى Hartree ، ويقوم على دراسة حالات الطاقة الممكنة بالنسبة إلى الكترون واحد موضوع داخل زخم النوى ، في حين لا تتدخل الالكترونات الأخرى الا بزخمها الوسطي ، المحصول عليه بواسطة طريقة الحل « المتعاسك ذاتياً » في الميكانيك الكانتي أو الكمي . ويتيح تقريب هارترى تقريباً تفسير كل خصائص الجسم الجامد باستثناء قوى التماسك . إلا أنه يؤدي إلى دالات (وظائف) في الموجة لا تتوافق مع مبدأ الاستبعاد الذي قال به بولي . وتلافياً لهذا النقص الأخير ، عدل فوك Fock تقريب هارترى : وللأسف ، ورغم أن هذا التعديل يفسر بشكل أفضل تماسك الجوامد وأنه من الناحية النظرية أكثر إرضاء ، تبقى نظرية هارترى - فوك صعبة التطبيق على بعض الخصائص ، وخاصة الحرارة النوعية الالكترونية .

ويمكن أن يؤخذ على هذه النظريات التبسيطية أنها في أغلب الأحيان غير مبررة . خاصة في الشبكة الكاملة عند الصفر المطلق حيث لا تدخل النوى في دراسة الالكترونات إلا من أجل اقرار دورية الطاقة الكامنة . وفي درجات حرارة أكثر ارتفاعاً ، تعالج حركة الايونات على حدة ، ويدل عليها وجود الفوتون . وتعتبر هذه الأخيرة وكأنها ارتباطات صغيرة في نظرية التوصيل الكهربائي . واعطاء دور أساس أكبر للتفاعلات بين الالكترونات والفونون يمكن من مشاهدة امكانية حل مسألة التوصيلية الفائقة .

التوصيلية الفائقة - كشفت التوصيلية الفائقة في سنة 1911 عندما لاحظ كامرلنغ أونس المقاومة في الزئبق تزول بعنف في الدرجة 4.2°K ومظهرها الأكثر بروزاً هو استمرارية تيار في حلقة فائقة التوصيل لمدة عدة أيام ، دونما حاجة إلى عون خارجي من الطاقة ، للمحافظة عليه : وتمت التجربة ، مع وجود تيار مغناطيسي خارجي ، بتبريد حلقة من الزئبق تحت درجة حرارة حساسة T_c (درجة حرارة الانتقال بين الحالة العادية والحالة الفائقة التوصيل) ، وعندما نلغي الحقل الخارجي يحدث ، بفعل الحث ، تيار داخل الحلقة ، ويمكن اكتشافه بفضل الحقل المغناطيسي الذي يحدثه هذا التيار . في سنة 1913 ، لاحظ كامرلنغ أونس أن التوصيلية الفائقة تتوقف عندما يتجاوز الحقل المغناطيسي قيمة معينة تتعلق بدرجة الحرارة .

وفي حوالي سنة 1930 ، تم تبين أن الحرارة النوعية الالكترونية تتلقى انقطاعاً عند الانتقال من حالة التوصيل الفائق في حين أن القصور الحراري يبقى مستمراً . هذه الواقعة تميز الانتقالات من الدرجة الثانية مثل الانتقالات في حالة الانتقال من المغناطيسية المتوازنة إلى المغناطيسية الحديدية ومثل التحولات من الانتظام إلى الفوضى ، في المزالج . وتطبيق الحرارة المتحركة بفضل كيسوم ورود جرمس وغورتر اتاح توضيح العلاقة بين مختلف الخصائص وبين أن حالة التوصيل الفائق هي حالة أكثر انتظاماً من الحالة الطبيعية . وأدى تطبيق الحرارة المتحركة (ترموديناميك) إلى نموذج المائتين (غورتر وكازيمر ، 1934) ، وهو النموذج الذي يتخذ كأساس تواجد الكترونات فائقة التوصيل مع الكترونات عادية ، وهذه الالكترونات الأخيرة تظهر في التوصيلية الحرارية وفي الحرارة النوعية الالكترونية .

وقدمت أول نظرية ظاهراتية حول الخصائص الكهروديناميكية من قبل ف . ه . لندن London سنة 1934 وانطلقت هذه النظرية من ملاحظة جرت سنة 1933 على يد ميسنير وأوكسفيلد : يكون الحث المغناطيسي معدوماً داخل موصل فائق يبدو كأنه يعمل كمعدن مغناطيسي كامل .

هذه الملاحظة الثابتة تناقض النتيجة الحاصلة من جراء تطبيق معادلات ماكسويل حول الكهرمغناطيسية ، على جسم ذي توصيلية لا متناهية : إذ تبين أن الحث المغناطيسي لا يتغير فيه مع الزمن . ولكي يأخذ لندن بهذه الواقعة فقد استبدل قانون أوهم الذي يعطي التيار الكهربائي بقانون يعبر عن نسبة التيار في التوصيلية الفائقة ، إلى الزخم السهمي في الحقل المغناطيسي . واستنتج من ذلك أن الحث المغناطيسي الثبوتي لا يمكن أن يتسرب إلى داخل موصل فائق إلا في عمق ضعيف جداً من عيار 10^{-5} سم .

وحتى هذه السنة الأخيرة بقيت كل المحاولات للعثور على تفسير ميكروسكوبي للتوصيلية الفائقة بدون جدوى . في سنة 1950 لاحظ علماء عديدون أن درجة الحرارة الحساسة تتغير ، عندما نغير التركيب الايزوتوبي (النظيري) في الجسم وفقاً لقانون بسيط يعبر عن ثبوتية الحصبلة $M^{1/2}T_0$ (الكتلة الذرية = M) : وهذه الظاهرة تثبت دور الايونات وبصورة اقل دور ذبذبات الشبكة أي دور الفونونات . ويتأكد هذا الدور بفعل أن افضل الموصلات الفائقة هي موصلات سيئة في درجة الحرارة العادية ، أي أنها أجسام يكون فيها تفاعل الالكترونات والفونونات مهماً . وهذا التفاعل يتوافق مع نظرية ميكروسكوبية حول حالة الموصل الفائق ، وهي نظرية وضعها بشكل مستقل فروهليخ Fröhlich سنة 1950 . هذه النظرية تظهر ، بفعل تفاعلات الالكترونات والفونونات ، حداً جديداً للطاقة في معادلة شرودنجر التي تحكم حركة الالكترونات . وهذا الحد يساوي جذبةً في فضاء العزوم أي أنه يعمل على تركيز سرعات الالكترونات في اتجاهات متجاورة . ومن وجود هذا الحد استنتج فروهليخ المفعل الايزوتوبي (النظائري) ولكنه لم يعثر على كل الخصائص المميزة للموصلات الفائقة .

المحدث التجريبي الأكثر أهمية في السنوات الأخيرة كان ابتكار شريط ذي طاقة محظورة في الموصلات المنفوقة . هذا الشريط المحظور يظهر من خلال الواقعة التي مفادها أن الموجات الكهرومغناطيسية ذات التواتر المنخفض تنعكس بواسطة موصل متفوق في حين أنه تُمتص التواترات العالية ، والانتقال بين الظاهرتين يتم ضمن سلم الموجات المليمتريّة .

وتفسر هذه الظاهرة بملاحظة أن الفوتون لا يستطيع إثارة الكترون لاجباره على اجتياز الشريط المحظور ذي الارتفاع البالغ ΔE إلا إذا كان تواتره يزيد على $\nu_0 = \Delta E/h$.

في سنة 1957 ، استطاع باردين Bardeen وكوبر Cooper وشريفر Schrieffer التوصل إلى استعادة ، نظرياً ، وجود هذا الشريط ، بعد النظر ، بأنّ واحد ، إلى التفاعلات بين الالكترونات والفونونات ، والتفاعلات الكولومبية بين الالكترونات التي كان فروهليخ قد اهتملها . واستطاعوا اثبات أنه ، عند الصفر المطلق ، يظهر شريط محظور واقع عند مستوى فيرمي ، داخل الشريط العادي للتوصيل ؛ وعرض هذا الشريط المحظور يتقلص عندما ترتفع درجة الحرارة لكي يزول عند الحرارة الحرجة وانطلاقاً من وجود هذا الشريط ، تتجلى امكانية تفسير مختلف خصائص الموصلات المنفوقة ، ولكن النظريات ما تزال في طور التكوين . وما تزال تبرز احداث جديدة تجريبية : من ذلك أنه في سنة 1962 ، أثبت باحثون كثيرون تكميم الدفق المغناطيسي داخل حلقة متفوقة : فالتفاعلات الجذبية بين الالكترونات والفونونات يجب أن تنتصر على التفاعلات الدافعة التي قال بها كولومب (Coulomb) . في نظرية باردين ، يرتدي هذا المعيار الشكل البسيط $n p > 10^9$.

ونظراً للدور المهم الذي تلعبه الالكترونات والفونونات ، فليس من المستغرب ظهور المقاومة ρ في الموصل عند الدرجة $20^\circ C$: وتدخل العدد الوسط n من الالكترونات ذات التكافؤ بالذرة يتوافق مع معيار معين تجريبياً من قبل ماتياس (Matthias) سنة 1957 .

وأُتاحت أهمية المعارف المتوفرة حديثاً توجيه البحث عن معدات جديدة متفوقة التوصيل ذات درجة حرارة حرجة أعلى وتقبل زخومات أقوى في التيار في حالة الموصل المتفوق . وأتاح اكتشاف المركبات أمثال المخلائط نيبوم - زيركونيوم ، نيبوم - قصدير ، وحديثاً أيضاً ، فاناديوم - غاليوم ، الحصول على حقول مغناطيسية ذات عدة عشرات الألوف من الأورستيدات بواسطة ملفات لولبية فائقة التوصيل : هذه المركبات فتحت باب الأمل في بلوغ عدة آلاف من الأورستيدات بخلاف سنين قليلة . وأخيراً هناك تطبيقات أخرى للموصلات المتفوقة مرتقبة : من ذلك إنجاز ذاكرات لحاسبات الكترونية بشكل الكريوترون (Cryotron) أول نموذج لها .

ودلّ التقدم الحديث في الفيزياء المتعلقة بالموصلات المتفوقة على ما يمكن أن تقدمه نظرية أكثر دقة حول الكترونات الاجسام الصلبة . إن التفاعلات الكولومبية بين الالكترونات ، والتي تدخل في نظرية بارددين وكوبر وشريفر ، يمكنها أيضاً أن تحدث تأرجحات بلاسما (Plasma) في الجوامد تشبه تلك التي درسها لانغموير في التفريغات الغازية . ودورها مهم في نظريات بوهم Bohm وبينس Pines وبوغوليوبوف Bogoliubov التي سنأتي على ذكرها ، بعد أن نكون قد استعرضنا تجدد الفيزياء في الغازات المؤينة [المحثثة بالأيونات] منذ 1950 .

IX - تجدد فيزياء البلاسما

بعد أعمال لانغموير استمر العديد من الباحثين بالاهتمام بالغازات المؤينة . إن التطبيقات العملية ، مثل المقومات ولمبات الضوء ذات التفريغ الغازي ، قد غدت دراسة تفاعلات أساسية (التأين ، وإعادة الدمج . . الخ) . وانباب التبديل الراداري أدت إلى الدراسة المنهجية للتفريغات التي تثيرها الحقول ذات التواتر العالي : فقدم م . هـ . مرلين Merlin وس . ك . بروان Brown نظريتها سنة 1948 . ومنذ اكتشاف الطبقة الفضائية المؤينة ، فإن دراسة تأثيرها على انتشار الموجات قدمت خدمة لنظرية الغازات المؤينة . وأخيراً اهتم الفيزيائيون الكواكبيون ، منذ مدة طويلة ، بالغازات المؤينة ، لأن القسم الأكبر من الكون مؤلف من بلاسما ، وبصورة خاصة جداً الكواكب : وكان لهم الفضل بإيجاد فرع جديد في نظرية البلاسمات هو فرع « المغناطيسية في السوائل المتحركة » .

وعرفت دراسة الاوساط المؤينة تطوراً مشهوداً ، منذ سنة 1950 . إن عودة الاهتمام ترد بالدرجة الاولى إلى أهمية برامج البحوث المجرة حول الانحماص الحراري النووي المراقب الملجوم ، بغرض تدجين طاقة القنبلة الهيدروجينية . فالانحماص الملجوم الذي يحدث على الكرة الارضية نفس العمليات التي بموجبها تولد طاقتها ، يتم في اوساط ذات درجات حرارة عالية جداً ، وبالتالي كاملة التأين : فمن أجل الحصول على تفاعل حراري نووي ، لا بد من وجود بلاسما ذات كثافة تأيينية من عيار 10^{15} جزيئة في السنتيمتر المكعب الواحد ، ودرجة حرارة تأيينية من عيار مئة مليون من الدرجات ، في حين يوجد في الشحنة الغازية العادية كثافة الكترونية من عيار 10^{11} الكترون في السنتيمتر المكعب الواحد ، وذلك في درجة حرارة الكترونية من عيار 20000° ، في حين تكون درجة الحرارة المؤينة أقل بكثير . ويبن فشل المعدات التجريبية الاولى المحققة من

أجل محاولة الحصول على الالتحام الملجوم ، عدم كفاية معارفنا حول الاوساط المؤينة وأوصل الباحثين إلى الالتفات إلى فيزياء البلاسمات .

وقدمت البحوث الفضائية حافزاً آخر . فقد رؤي في بادئ الامر أن الصواريخ تحيط نفسها بغلاف مؤين عند دخولها إلى الفضاء ، مما يعيق بشكل كبير اتصالاتها الراديو كهربائية مع الارض . وتم التفكير أيضاً في تحقيق الدفع الايوني للصواريخ والاقمار الصناعية . وأخيراً دلت هذه الوسائل الجديدة لاستكشاف الفضاء على وجود احزمة مؤينة حول الارض (احزمة فان آلن Van Allen) ؛ واعلمتنا أن الاينوسفير (الطبقات المؤينة) تمتد إلى ابعد مما كان يعتقد ، وقدمت امكانية الذهاب مباشرة إليها لقياس خصائصها . ولتقدير تنوعية البلاسمات الفضائية ، نذكر أن الاينوسفير تحتوي تقريباً على 10^6 الكترونات بالسنتيمتر المكعب الواحد ، بدرجة الحرارة التي تبلغ ألفي درجة تقريباً ، في حين أن جوف الكواكب القزمية البيضاء هو بلاسما ذات 10^{32} من الالكترونات بالسنتيمتر المكعب الواحد ، بدرجة حرارة تبلغ مليوني درجة .

المغناطيسية السائلة المتحركة (La Magnétohydrodynamique) - من أجل تفسير خصائص الاحجام الضخمة من البلاسما الموجودة في الكون نشأ علم المغناطيسية السائلة المتحركة (Magnétohydrodynamique) . إن هذا العلم يطبق على وسط موصل للكهرباء ، سواء كان الوسط سائلاً أم غازاً مؤيناً . وإذا اعتبرنا الوسط متصلاً مستمراً ، فإن هذا يطبق عليه معادلات ميكانيك الموائع . وبشكل عام تماماً انه يدرس حركة مائع موصل في حقل مغناطيسي .

ويميزه كولنج Cowling كما يلي :

« إن التيارات الكهربائية المثبوتة في المائع المتحرك تغير الحقل ، في حين أن دفع هذه التيارات في الحقل يولد قوى ميكانيكية تغير الحركة . وتقوم فائدة وصعوبة علم « المغناطيس السائل المتحرك » بالضبط ، على التفاعل بين الحقل والحركة » (كولنج T.W. Cowling Mganetohydrodynamics) .

وللتبث من هذه المخطائص ، يجري استكمال معادلات ميكانيك السوائل بمعادلات مكسويل ، مع اهمال تيار التنقل عموماً ، إذ لم يكن الاهتمام منصّباً على ظواهر التواتر العالي .

وينت على هذه القواعد خصائص مهمة للحقل المغناطيسي . في المادة الساكنة ، هناك انتشار للحقل المغناطيسي ، ويتم هذا بسرعة أكبر كلما كان الوسط صغيراً : وسنداً إلى كولنج Cowling والساسر Elsasser ، يكون وقت الانتشار أقل من عشر ثوانٍ بالنسبة إلى كرة شعاعها متر ، في حين يكون 10^{10} من السنوات بالنسبة إلى الحقل المغناطيسي الشمسي الكامل . وايضاً ، تجر المادة - في الكتل الكونية التي تبدو كموائع كاملة التوصيل ومتحركة - خطوط القوى المغناطيسية التي تبدو وكأنها متجمدة فيها . وقد استخدمت هذه الخصائص من أجل وضع نظرية الحقول المغناطيسية الارضية والكواكب .

هناك قسم مهم من هذا العلم مخصص لدراسة حالات التوازن والاستقرار . ومن الامثلة على ذلك دراسة توازن البقع الشمسية على يد ألفين (Alfvén) (1943) ودراسة الاذرع الحلزونية في

المجرات من قبل شندرا سيخار Chandrasekhar وفرمي Fermi (1953) .

في سنة 1942 الفين في اطار المغناطيسية السائلة المتحركة أن موجات اعتراضية ذات تواتر منخفض جداً يمكنها أن تنتشر في البلازما بوجود حقل مغناطيسي . فالحقل المغناطيسي يحدث بهذا الشأن توتراً على طول خطوط القوى ، وينتج عن ذلك ، كما هو الحال في نظرية الاوتار الشديدة الحساسية ، انتشار للموجات على طول هذه الخطوط . وتم اثبات وجود هذه الموجات بصورة تجريبية على يد لندقيست Lundquist ولهنت Lehnert اللذين استعملتا الزئبق كسائل موصل ، وعلى يد بوستيك Bostick بمساعدة ليفين Levine كغاز مؤين .

وأدت البحوث من أجل استحداث التلاحم الحراري النووي الملجوم إلى صنع اجهزة مخبرية تعود دراستها إلى المغناطيسية السائلة المتحركة . وللحصول على كثافة قوية في البلازما بدرجة حرارة مرتفعة جداً ، كان لابد من تجنب كل تماس مع الجوانب حيث تبرد البلازما واعادة دمج . ولهذا تم السعي إلى حبس البلازما في قنينة غير مادية مكونة من خطوط قوى مغناطيسية ، أي موازنة ضغط المادة بضغط مغناطيسي . وأول فكرة كانت تقوم على تحقيق بلازما بشكل شحنة غازية ذات كثافة قوية جداً ثم استعمال الحقل المغناطيسي المحدث بفعل التيار في البلازما من أجل حصرها : وكان من السهل رؤية القوة المسلطة على الشحنات المتحركة وهي تحدث فعل « القرص » قرص التفريغ (La décharge) . وسرعان ما بدا أن هذا الاثر غير كاف لحصر بلازما حرارية نووية . فقد ظهرت البلازما كموجود ذي نزوات وغير منضبط ، بدلاً من أن يتخذ اشكالاً بسيطة اسطوانية أو برجية ، فإنه يتخذ اشكالاً أكثر تميزاً كمناطيد مغزلية رشيقة ، أو كمرفق أو مروحة : ويفسر علم المغناطيسية السائلة المتحركة هذا السلوك ويقدم معايير للاستقرار قد نفذت في الات جديدة حرارية نووية مثل « الستلراتور » Stellarator والآلات ذات المرايا المغناطيسية .

وفي حين استمرت هذه البحوث حول التلاحم تم تقديم مولّد من نمط جديد من أجل التحويل المباشر للطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية : وعرف تحت اسم مولّد م . هـ . د . M.H.D (مانيتو - هيدرو - ديناميك) . من المعلوم أن حقلاً مغناطيسياً يولد قوى باتجاه معاكس على الالكترونات والايونات الايجابية في البلازما المتحركة . وتستخدم هذه الخاصية من أجل فصل الالكترونات عن الايونات في بلازما مقذوفة بسرعة كبرى ، ومن أجل احداث تيار كهربائي ضمن حلقة مستخدمة . وهناك العديد من الاعمال الجارية لتحقيق المولّد م . هـ . د . الذي ينتج عن تطبيق قوانين الحث في وسط ايوني متحرك ، كما هي القلابات الكلاسيكية تطبيقاً لها على المولدات الجامدة .

النظرية الميكروسكوبية حول البلازما - في حين يبدو علم المغناطيسية السائلة المتحركة ، أساساً ، نظرية عيانية ، يعتبر فيها الغاز المؤين كسائل متصل متميز بشاوب مثل اللزوجة والتوصيلية ، فإن نظرية أكثر عمقاً تحاول أن تفسر خصائص البلازما بالدراسة الجامدة لأواليات تحدث على الصعيد الميكروسكوبي .

فالغاز المؤين يعرف عندئذ وكأنه يحتوي ، من جهة على جزيئات حيادية ، ومن جهة

اخرى ، على إلكترونات وعلى ايونات ذات شحنة كهربائية معدومة . في الظروف الاستعمالية لا تكون بلاسما الغاز المؤين منحلة بمعنى النظريات الكثنية والإحصاء الكلاسيكي بشكل مُقاربة كافية لدراستها . ويعرف الميكانيك الإحصائي ، بشكله الأكثر تطوراً ، حالة هذا النظام من الجزيئات من خلال نقطة من فضاء ذي عدد كبير من الأبعاد ، فيعطي مواقع وسرعات كل جزيء ، أي $(6N)$ أبعاد لـ N من الجزيئات . وتطور النظام في الزمن يوصف بواسطة معادلة ليوفيل Liouville في الميكانيك التحليلي . وبين كل من بوردن ، وغرين ، وكيركود ، وبوغوليوبوف وإيفون ، ابتداء من سنة 1946 ، كيف يمكن استخلاص معادلة تطورية بالنسبة إلى مقدار أكثر بساطة ، عندما لا تُعمل دالة إلا احداثيات السرعة والموقع لجزيء واحد ، وكذلك الوقت . وتدخل هذه المعادلة التفاعلات القريبة بين الجزيئات . في حالة الغازات المجردة ، يتعلق الامر بمعادلة بولتزمان التي وضعت ، في الماضي ، بشكل أقل دقة ، والتي عرضنا لها أيضاً في نظرية الإلكترونات الحرة في المعادن ، بحسب رأي لورنتز . وتطبق نفس المعادلة أيضاً على إلكترونات الغاز قليلة التأين حيث يسيطر تصادم الإلكترونات والجزيئات المحايدة . ويُستنتج من ذلك توصيلتها الكهربائية تبعاً لتوتر الحقل الكهربائي المطبق مع المعادلات العيانية : الاحتفاظ بعدد الجزيئات (معادلة التواصل في ميكانيك الموائع) ، حفظ كمية الحركة ، معادلة نقل الحرارة . في الواقع ، بدت دراسة مؤثر الاصطدامات عند بولتزمان معقدة للغاية . حتى في حالة غاز لورنتز الكامل ، أي النموذج النظري حيث تعتبر كتلة الجزيئات كبيرة للغاية إذا قيسَت بكمية الإلكترونات (إن هذا النموذج قد ادخل سنة 1905 من قبل لورنتز في دراسة التوصيلية الكهربائية في الجوامد) . ويمكن أن نبين أن رمز بولتزمان يقبل كدالات خاصة للدالات الكروية ، وهي أسرة من الدالات ذات مؤشرين يتوافقان مع تباين الخواص قوي للغاية بمقدار ارتفاع المؤشرات . وبالاتفاق من دالة توزيع كفي للإلكترونات في فضاء السرعات ، تبين عندها أنه بفضل التصادم مع الجزيئات المفترضة في حالة توازن حراري ، يتلاشى تباين الخواص في الزمن : عند التوازن تتوزع الإلكترونات بشكل توافقي . ويتميز كل تباين بفترة استرخاء أو بنقيضها وهو ما يسمى « تواتر الاسترخاء » . وبالنسبة إلى قانون تفاعلي مجرد بين الإلكترونات والجزيئات أن تواتر استرخاء التباين في الصفات الأبسط هو الذي يولد مفهوم التواتر الاصطلاحي : وهذا المفهوم هو الذي يتدخل في عبارة التوصيلية .

في نموذج غاز لورنتز الكامل يعتبر كل توزيع موحد الخواص للسرعات توزيعاً متوازناً لأن الصدمات لا تغير طاقة الجزيئات بل وجهة سرعتها فقط . ولروية كيفية تطور القسم الموحد الخواص في دالة التوزيع ، يتوجب الأخذ في الاعتبار أن العلاقة m/M أي علاقة كتلة الإلكترونات على كتلة الجزيئات ، ليست معدومة ، رغم صغرهما (نموذج غاز لورنتز غير الكامل) . في هذه الحالة نجد أن توزيع السرعات المتطابق مع التوازن الحراري ، هو التوزيع الماكسويلي عند درجة حرارة الجزيئات .

وفي التفريغات الغازية ، نجد عادة أن الإلكترونات تمتلك توزيعاً مكسولياً للسرعات عند درجة حرارة أعلى بكثير من درجة حرارة الجزيئات .

ولتفسير هذا الواقع يتوجب تدخيل التفاعلات فيما بين الإلكترونات : فطول مدى قوى

كولومب يفسر استقرار التوازن الحراري بين الالكترونات قبل أن تتوازن حرارياً مع الجزيئات ، وتكتسب الالكترونات درجة حرارة مرتفعة لان الحقل الكهربائي يعطيها طاقة قلما تضعف في الصدمات مع الجزيئات الاكثر ثقلاً منها بكثير .

ومن الصعب أيضاً أكثر وضع نظرية الغازات الكاملة التأين التي تشكل البلاسمات الحرارية النووية . وبالفعل أن قوى التفاعل بين الجزيئات هي قوى كولومب التي تدخل صعوبات بسبب طول شعاعها العملي . في هذه الحالة يتم احصائياً وصف الصدمات فيما بين الخلايا بواسطة « معاملات الانتشار » التي ادخلها سنة 1943 ، شندرا سيكار في دراسة انتشار المجرات . ولهذا ينظر إلى حزمة من الجزيئات « السرية » الواصلة إلى جزيئات مهدوفة ، ثم ندرس تباطؤها وتوزع سرعاتها . وانطلاقاً من معاملات الانتشار التي تميز هذه الظواهر حدد سبيتر ثوابت زمنية - زمن التباطؤ وزمن الانحراف - تحدد سرعة العودة إلى التوازن الحراري الديناميكي . وكذلك في البلاسمات كاملة التأين ، لا يمكن استخدام معادلة بولتزمان الذي يرى في الصدمات ظواهر مزدوجة : ويتوجب استبدال هذه المعادلة بمعادلة مستخرجة من اعتبارات إحصائية خالصة ، معادلة فوكر - بلاتك التي تدخل وتعمل معاملات الانتشار . واستخدمت هذه المعادلة من أجل توضيح زمن إقرار توزيع ماكسويلي لسرعات الالكترونات (أو الايونات) نتيجة تفاعلها ذاتياً فيما بينها . واستنتج سبيتر من ذلك التوصيلين الكهربائي والحراري في بلاسما كاملة التأين .

وفي المسائل التفاعلية بين خلايا بلاسما ، فإن طول ديبي الذي التقنيه في نظرية الاجسام المنحلة بالكهرباء ، يلعب دوراً أساسياً . وفي الواقع أن هذا الطول يترجم الارتباطات بين مواقع الجزيئات التي درست بدقة من قبل ايضون بواسطة دالات التوزيع المتعدد الذي يستنتج تطوره من معادلة ليوفيل .

كل هذه النظريات الدقيقة المرهقة ليست فقط ذات فائدة نظرية . فهي تسمح بتوضيح المفاهيم العميقة مثل الضغط أو حركية الالكترونات والايونات ، وهي تعطي نتائج مفيدة حول التوصيلين الكهربائي والحراري وكذلك حول اللزوجة . وأخيراً أنها تقيم على اساس جديده المعادلات العميقة التي تبنى حولها نظرية الموجات داخل البلاسمات ونظرية المغناطيسية السائلة المتحركة .

الموجات داخل البلاسمات - رأينا أن لانغموير وتونكس قد بينا أن البلاسما يمكن أن تكون محلاً لموجات الكترونية بتواتر سمي « تواتر البلاسما » ($\omega_p = 9000\sqrt{n}$) . وهذا التواتر يعبر عنه بالهرتز عندما يمثل « عدد الالكترونات في السنتيمتر المكعب . وبغياض الاضطراب الحراري ، لا تنتشر هذه التموجات داخل البلاسما ، ولكن على اثر الحركة البرونية في الالكترونات فهي تنتشر بشكل موجة طولية تسمى « الموجة الالكترونية » ، أو « موجة شحنة الفضاء » .

في سنة 1946 بين لاندو Landau ان الاضطراب الحراري إذا كان يؤمن نقل التموجات فإنه يحدث أيضاً تمويها . وفي دراسة بعنوان : « نظرية جذبات البلاسما : اصل السلوك الوسيط » (1949) ، أوضح بوهم وغروس ، بواسطة التحليل المجهرى ، الأولية التي تنسق بين حركية

الالكترونات والتي تولد سلوكاً جماعياً : في البلازما تشكل قوى كولومب ذات الشعاع العملي الطويل نشأة هذه البلازما في حين أن انتشار الموجات الصوتية في غاز أو في سائل هو مرتبط باصطدام الجزيئات الحادية كما هو مربوط بالقوى الذرية الوسيطة ذات المدى القصير . وفي الموجات الالكترونية لا تتحرك الايونات . وبمقدار ما يمكن أن يكون للايونات سلوك جماعي ، توجد أيضاً موجات ايونية في البلازما : ويتج عن ذلك موجة ايونية تمثل في التواترات الدنيا سمات الموجة الصوتية .

إلى جانب هذه الموجات الطولية قد يوجد في البلازما موجات اعراضية تكون فيها الحركة التناوية في الجزيئات وكذلك المكونات التناوية للحقلين الكهربائي والمغناطيسي عامودية على اتجاه انتشار الموجة .

وتدخل هذه الموجات لتفسير التأثيرين الفضائي على انتشار الموجات الضوئية الكهربائية : وفي التواترات المستعملة هنا يمكن اهمال حركة الايونات ؛ ويُهمل أيضاً الاضطراب الحراري في الالكترونات . وبفضل هذه التقريبات وضع ابلتون وهارترى « نظرية المغناطيس المؤين في الفضاء المؤين » (1927-1932) . في النظرية الاولى حول انعكاس الموجات بواسطة الكرة المؤينة ، شبهه واتسون بكرة موصلة اما الاولى المستعملة فكانت الانعكاس المعدني : ودراسة التوصيل في البلازما تدل على أن هذه البلازما ليست صريحة إلا في الموجات الطولية جداً ذات التواترات الأقل من تواتر التصادم بين الالكترونات والجزيئات . في سنة 1912 اقترح اكليس Eccles أعمال الانكسار على طبقات عازلة ذات مؤشر متغير كما هو الحال في تفسير السراب . وقد اعتمدت وجهة النظر هذه بعد منشورات اعلن عنها لارمور سنة 1927 . وفي هذا الشأن ، وفي التواترات التي تعلو تواتر الصدام تتصرف البلازما كعازل مؤشر انكساره يساوي $f^2/f_p^2 - 1$ (f تساوي تواتر الموجة أما f_p فتساوي تواتر البلازما) : اما بالنسبة للتواترات الأقل من f_p ، فالموجات لا يمكنها أن تنتشر وتنعكس بشكل كامل . وكون المؤشر أقل من الوحدة ، بعكس ما هو عليه الحال في مؤشر العازلات الأخرى ، يجد تفسيره سنداً لنظرية لورنتز حول العازلات : ففي العازل الحقيقي ، تسحب الالكترونات نحو موقع توازني بفعل قوة استرجاع تفرض تواتراً متميزاً ؛ وفي البلازما تكون الالكترونات حرة مما يعني أن هذا التواتر المتميز يكون التواتر الصفر

ووجود حقل مغناطيسي ثابت يعقد الظاهرات : وتصبح البلازما متباينة الخواص وتكون ثابتها العازلة مستبدلة بموتر عازل ادخله نيكولس وشيلنغ سنة 1925 ، ويمكن أيضاً أن يعتبر كموتر توصيلي لانه يربط التيار العام بالحقل الكهربائي . وعندها نجد امكانية انتشار موجة عادية وموجة استثنائية بسرعات مختلفة مستقطبتين بشكل دائري وبتجاهين متعاكسين . وفي خصائص البلازما هناك دور اساسي يلعبه التواتر رجع سيكلوتروني [السيكلوترون هو جهاز لتحطيم نواة الذرات] f_c ، أي التواتر الطبيعي للدوران الالكترونات حول خطوط القوة المغناطيسية (ونحصل على : $f_p = 2.8 H$ ، باعتبار أن الحقل المغناطيسي H يعبر عنه بالأورستد Oersteds والتواتر f ، يعبر عنه بالميجاهرتز) .

وإن نحن حسبنا حساباً لحركة الايونات التي تلعب دوراً مهماً في التواتر المنخفض ، عندها

يدخل تواتر سيكلوتروني أيوني . وفي التواترات الشديدة الانخفاض تجتمع الموجات العادية وغير العادية لتعطي موجة ألفين في المغناطيسية السائلة المتحركة : ويكون لحركات الأيونات وحركات الإلكترونات أهمية متساوية في أصلها .

والدراسة التركيبية لهذه الأنماط المختلفة من الموجات داخل البلازما غير محدودة ، قدمها في سنة 1960 دلكرولا Delcroix ودينيس Denisse اللذان حسباً حساباً للاضطراب الحراري . ونظر هذان المؤلفان أيضاً في الحالة التي تكون فيها الموجات منتشرة في اتجاه منحني بالنسبة إلى الحقل المغناطيسي : ولا يعود هناك موجات خالصة أو عرضية خالصة بل تزاوج بين هذه الموجات المختلفة . وفي التقريب الذي قدمه اپلتون Appleton وهارتري Hartree ، وجدا الموجات شبه الطويلة وشبه العرضية التي ادخلها بوكري في نظرية الجو المؤين .

ودراسة الموجات في البلازما ذات الأبعاد النهائية ، وفي البلازما الموجودة في المرشحات المعدنية المجوفة تبدو أكثر تعقيداً . من ذلك أن الموجات ليست على العموم مجرد « معترضة كهربائية » أو « معترضة مغناطيسية » كما هو الحال في المرشحات الكلاسيكية ذات التواترات العالية . وقد تمت دراستها بشكل متوازٍ مع دراسة الموجات في الحثدييات ، وهي أوساط تتميز بموتر ذي نفوذ مغناطيسية ، في حين أن البلازما ذات موتر عازل . وبقيت الدراسة العامة تنتظر . ولكن نتائج مفيدة قد تمت بفضل و . ب . اليس Allis وبفضل سمولين Smullin وكورني Chorney سنة 1958 . وفي ذات السنة بين كل من ر . غولد Gould وترفيليس Trivelpiece أن المرشحات المعدنية المحتوية على بلازما مع وجود حقل مغناطيسي يمكن أن ترشد الموجات البطيئة ، كما هو الحال بالحلقات ذات الأنابيب ذات الموجة التصاعدية .

فضلاً عن تطبيقها على الانتشار الجوي المؤين ، وفضلاً عن دور الموجات الشاحنة الفضائية التي سنفسلها فإن نظرية الموجات داخل البلازما وجدت تطبيقاً عملياً لها في الدراسة التجريبية حول البلازما ، مع الاستعانة بالموجات ذات التوتر العالي . إن تدابير الامتصاص والتغير والانعكاس ، ودوران سطح استقطاب الموجات تشكل الوسيلة الأقوى في تحديد خصائص البلازما .

إشعاع البلازما - إن البلازما لا تشكل فقط أوساطاً سلبية تنتشر فيها الموجات الكهرومغناطيسية ، فهي تستطيع تشعيع الطاقة بمختلف الأواليات : مفعول شيرينكوف ، تشعيع الكبح ، تشعيع الدوران المغناطيسي ، بث الضوء بواسطة الجزيئات المحسوسة بواسطة الاصطدامات .

في سنة 1934 اكتشف شيرينكوف Cerenkov بث الضوء في سائل موضوعية بجوار مصدر إشعاعي ناشط . وفي سنة 1937 بين فرنك Frank وتام Tamm أن « مفعول شيرينكوف » هذا سببه تشعيع جزيئية مشحونة سرعتها أعلى من سرعة طور الضوء في الوسط الذي يقطعه هذا الضوء . وقد تحدث هذه الظاهرة في التواترات الكهربائية المشعة . وبين ج . موريه Mourier سنة 1956 قرباتها ، في وسط عازل محدود ، إلى أواليات الأنوب ذي الموجة التصاعدية . وفي بلازما

مجمولة متبانية الخواص بفضل حقل مغناطيسي تعرض هذه الظاهرة أوجهاً خاصة كانت قد درست سنة 1956 من قبل كولومنسكي Kolomenskii وسيتينكو Sitenko . إن صيغ التشعيع الكهرمغناطيسي في الكترون مكبوح ، قد وضعت من قبل لينار Lienard سنة 1898 ومن قبل ويشرت Wiechert سنة 1900 . وهي تتيح حساب تشعيع الكترون عند اصطامه مع ايون وبالتالي مع القوة الكاملة المبثوثة بفضل كبح الالكترونات في بلاسما . في سنة 1958 استعمل ترونيكوف وكودريشف Kudryatsev صيغ لينار - ويشرت من أجل حساب التشعيع المغناطيسي الدائري أو التوجيهي في البلاسمات . وهذه الدراسة لها أهمية عملية لان خسارة الطاقة بفضل التشعيع تحد من إحماء الغيمات الذرية ومن البلاسمات الحرارية النووية .

وعندما تتوازن الالكترونات البلاسما توازناً حرارياً ديناميكياً متميزاً بتوزيع مكسويلي لسرعاتها فإن التشعيع المنبثق عنها داخل حزام طيف هو تشعيع لجسم أسود . وخارج هذا التوازن فإن دراسة التشعيع الكلي للبلاسما تشكل مسألة صعبة : وقد عولجت هذه المسألة سنة 1961 من قبل بيكفي Bekefi وهرشفيلد Hirshfield وسانبورن Sanborn .

إن استحداث الضوء بفضل الايونات والجزئيات بواسطة الاصطدامات ، قد لفت منذ زمن بعيد انتباه الباحثين . وفضلاً عن فائدتها العملية تبدو دراسة هذه المسألة مفيدة من وجهة نظر الوسائل التجريبية في مباحث البلاسمات . وتحليل توسيع الخطوط الطيفية بواسطة مفعول دوپلر وبواسطة مفعول ستارك ، اتاح تحديد المزاي الأساسية في البلاسمات . وقد اضيف هذا التحليل ، إلى ما لدى المجرب من مخزون ، وإلى طريقة مسابر لانغموير واستكشاف البلاسما بواسطة الموجات القصيرة .

الموجات داخل ضمائم الالكترونات ، انابيب الذبذبات القصيرة والبلاسمات - رغم أن البلاسمات تتألف ، بالتعريف ، من جزئيات ايجابية ومن جزئيات سلبية تشكل جميعها وسطاً شبه حيادي كهربائياً ، فهناك خصائص مماثلة تنوجد في اوساط اخرى : منها مثلاً ضمائم الالكترونات .

والقراءة الأساسية مع البلاسمات تكمن في دور التموجات المشحونة في الفضاء . فهذه الموجات المسحوبة بالسرعة الوسطية لالالكترونات الضمة ، تعبر عن ذاتها بموجات شحن فضائي ، بين وجودها و . هاهن Hahn ومن . رامو Ramo منذ 1939 ، وفي سنة 1954 بين ج . ر . بيرس Pierce انه بالإمكان استخلاص خصائص الأنابيب ذات الذبذبات العالية من دراسة لتزواج الموجات الأولية التي تنتشر فوق ضمة الكترونية وفوق خط . إن نظرية التزاوج هذه بين الموجات قد بررها هومس بواسطة طريقة تشويشية ، طبقت على حل معادلات مكسويل . وتشكل هذه النظرية أساساً لعدة طروحات حديثة حول تشغيل الأنابيب ذات الموجات العالية ، خاصة في المؤلفات الأنغلوسكسونية . وتعطي هذه النظرية آراء جديدة حول أواليات التضخيم وعدم الاستقرار . ويمكن بشكل خاص ، وصف ظاهرات تعديل السرعة ، وتعديل الزخم ، التي وجدناها عند البحث في الكليسترون [وهو أنبوب مفرغ لتقوية الذبذبات الكهرمغناطيسية] بواسطة موجات شحن الفضاء . وأتاح هذه المفاهيم فهم أوالية الضجة في أنبوب الموجة التصاعدي . في

أطروحته لسنة 1951 افترض وتكنس Watkins أن التموجات والتعرجات التي يسببها البث الالكتروني تنتشر فوق الضمة بفعل موجات شحن الفضاء : وقد جرى التحقق من هذه النظرية عملياً . وحسبها الكثير من المؤلفين حتى أدت في سنة 1961 ، إلى انجاز أنابيب تصل درجة الحرارة لضجتها إلى حدود 300°K ، وذلك في موجات أطوالها عشرة سنتيمتر في حين كانت درجة حرارتها تقريباً في سنة 1950 : 300000°K ، وأتاحت هذه النتائج تحسناً ملموساً في اللاقطات ذات الذبذبات المرتفعة ، مع وجود صعوبات عملية أقل مما هي عليه عند استعمال المازارات «Masers» أو المضخمات ذات الثوابت المعيارية .

إلا أن الاختصاصيين في انابيب الذبذبات العالية قاموا بحملة ، في مواجهة هجوم المضخمات ذات السرعة المنخفضة المركزة على تجهيزات من النوع الجامد . فقد تحكموا في وسط غير خطي هو الضمة الالكترونية التي من شأنها أن تتغير في الذبذبات العالية جداً . وكان أول اقتراح لاستخدام هذه الضمة في مضخم معياري اقتراحاً قدمه بريدجس في شباط سنة 1958 . وأتاحت التجارب التي أجراها كل من اشكين Ashkin ولويسيل Louisell وكوات Quate من أجل استخدام موجات شحن الفضاء ، الحصول على التضخيم دون الحصول على تخفيض في درجة حرارة الضمة . وبالمقابل باستعمال الرجس السيكلوتروني [السيكلترون هو جهاز لتحطيم نوي الذرة] استطاع ادلر سنة 1958 أن يصنع أنبوباً عجيباً لا يتطلب الا توتراً مغذياً من عيار 6 فولت واعطى حرارة ضجة مقدارها 300°K تقريباً . ويمكن أن نعجب من كيفية حصول ذلك بواسطة الكترونيات منبثقة من كاتود باعلى من 1000°K . الواقع انه في المضخمات المعيارية ذات الضمة الالكترونية ، يتم أولاً استخراج ضجة الضمة عند توتر الاستعمال . والضمة الالكترونية تكون عندها في حالة بعيدة جداً عن حالة التوازن الحراري الديناميكي ، ولكن يمكن تعريف درجة حرارة الضجة الحرارية . ومن وجهة النظر هذه استطاع اسكين أن يخفض درجة الحرارة في ضجة ضمة الكترونية إلى حدود 50°K ، انبوب معياري ذي موجة سيكلوترونية من أجل موجة طولها 7,5 سنتيمتر .

إن انجازات ادلر واشكين قد لفتت الانتباه إلى الرجس التحطيم لالكترونات ضمة غاطسة في حقل مغناطيسي ، وإلى وجود موجات مختلفة عن موجات شحن الفضاء هي « الموجات المحطمة » ، والتي هو الموازي للموجات الاعتراضية في البلاسمات .

وكما أن البلاسما قد تستخدم كدعامة لموجة بطيئة ، فبإمكانها أن تحل محل الحلقة المروحية في انبوب ذي موجة متصاعدة . وبالفعل توصل كلفن غولد وتريفليس سنة 1958 ، ثم العديد من المؤلفين ، إلى إثبات ظاهرة التضخيم ضمن نظام البلاسما - هي الضمة الالكترونية . واوليته قريبة من اوالية شغل انبوب مضخم اخترعه آ . هايف Haeff سنة 1949 ، وفيه يتم التضخيم بتفاعل ضمتين الكترونيتين مختلفتين ، إنما بسرعات مختلفة . ونرى أيضاً في هذه الظاهرة تفسيراً محتملاً لانتاج الموجات الضوئية الكهربائية ذات التواتر المنخفض في الفضاء الخارجي البعيد « إكزوسفير » وهذا الفضاء هو مصدر قلاقل واشعاعات داخل البلاسمات الحرارية النووية .

البلاسمات في الجوامد - رأينا النظرية المعتادة في الالكترونات الموجودة في الجوامد تهمل تقريباً بصورة كاملة تفاعلها الذاتي فيما بينها . وإبتداءً من سنة 1951 ، اعتمد بوهم وينس Pines

وجهة النظر المعارضة فاعطيها دوراً أساسياً : وهذا الرأي بررته تفسيرات الظواهر التي تتدخل فيها الشبكة البلورية تدخلاً خفيفاً .

ودراسة سلوك الكترونات الجامد سلوكاً جماعياً تعطي خصائص مختلفة عن خصائص الالكترونات داخل غاز مؤين : وفي الواقع تبلغ الكثافة الالكترونية في الجوامد 10^{23} إلكترون في السنتيمتر المكعب ، ودرجة الحرارة الالكترونية متدنية نسبياً (300°K) . ثم أن الالكترونات في الجسم الجامد تشكل غازاً « منحلأ » يجب أن يدرس من قبل الميكانيك الكمي . إلا أن الظواهر ، من وجهة نظر نوعية ، هي من ذات الطبيعة كما في بلاسمات الغازات المؤينة .

والظاهرة الأكثر بروزاً هي وجود ذبذبات جماعية . وبالنظر إلى الكثافة الالكترونية العالية فإن تواترات ذبذبات البلاسما تقع ضمن السلالم ما تحت الحمراء ، أو المضيئة أو فوق البنفسجية . أما كمية الطاقة hf_p المطابقة لمثل هذه الذبذبة فقد اعتمد لها اسم « بلاسمون » وهي تساوي تقريباً 10 إلكترون فولت : ثم إن الاضطراب الحراري غير كافٍ لحثها . وبالمقابل ان حث ذبذبات البلاسما يفسر ظاهرة رصدت من 1941 من قبل روثن : فالضمة من الالكترونات المصرة بفعل بضعة عشرات الآلاف من الفولتات ، قد تخسر ، وهي تتجاز غشاء معدنيّاً دقيقاً ، طاقات لا يمكن تفسيرها بفعل حث الالكترونات الفردية كما كان يجري في تجربة فرانك وهرتز . ومثل هذه التجارب أتاحت قياس طاقة البلاسمونات في الجوامد . وقد أمكن تحقيق ذلك ليس فقط بواسطة المعادن ، إنما أيضاً بواسطة الموصلات النصفية ، وحتى بواسطة العازلات .

والمظهر الآخر للسلوك الجماعي في الكترونات الجامد هو تشكيل غيمة ديبى حول كل الكترون : وتشكل هذه الغيمة شاشة كهربائية جامدة تحد من مدى قوات كولومب . إن قوات كولومب المخفضة على هذا الشكل هي التي تتدخل في نظرية الموصلات العالية التي وضعها باردين وكوبر وشريفر . وبأخذ هذه القوى في الاعتبار ادخل بوهم وينس تحسينات بالنسبة إلى نظرية جامد هاتري - فوك فيما يتعلق بقوة التماسك وبالحرارة الذاتية الالكترونية . وكذلك يمكن أيضاً تحسين حساب التوصيلية ، والثابتة العازلة الموجودة في بعض الجوامد .

وكون البلاسمون غير خاضع للحث إلا ضمن شروط استثنائية تقريباً ، نتيجة طاقته المرتفعة مضافاً إليها تشكيل ستارة ديبى ، يفسّر لماذا نالت النظرية التي قال بها هارترى حول الالكترون الواحد مثل هذا النجاح . إن نظرية النموذج الجماعي توضع بما لا يقبل الشك حدودها ، مع توضيحها ضمن ضوء جديد لدور الالكترونات في الجوامد . إن المساهمات المهمة التي قدمها السوفيات بوجوليوبوف Bogoliubov ، كليمنتوفيتش Klimontovich ، وسيلين Silin وكذلك المساهمة التي قدمها الفرنسي نوزياري Nozières حول تطورها ، أي تطور نظرية النموذج الجماعي ، تبرز الصفة الدولية للتقدم العلمي في العالم .

X - الانتقال من الموجات الكهربائية اللاسلكية إلى الموجات الضوئية

نحو انتاج موجات تحت مليمترية - لقد جدد استخدام الموجات القصيرة كوسيلة تجريبية في دراسة البلاسمات ، الاهتمام بالموجات المليمترية . وبالمخضوع امام الميل الذي يدفع علماء الكهرباء اللاسلكية للمصعود نحو ذبذبات متمادية الارتفاع ، اهتم هؤلاء العلماء بهذه الذبذبات . ومع ذلك ، ورغم أن امكانات النقل فوق مرشحات من موجات مليمترية تقدم احتمالات جيدة ، فقد عملت الظروف السيئة التي احاطت بانتشار هذه الموجات في الفضاء ، وكذلك صعوبة صنع أنابيب تحدث ذبذبات كهربائية عالية ، كل ذلك حُدَّ من جهود اكتشاف اطوال موجات أقل من 8 مليمتر بواسطة انبوب فارغ اسمه مغنطرون سنة 1936 وكان لا بد من انتظار سنة 1958 ، كي تقوم مجموعة من الباحثين في جامعة كولومبيا ، لتحقيق موجة طولها 2 مم بواسطة انبوب من النمط ذاته . وكذلك وبالرغم من أن ج . لافرتي Lafferty قد حقق سنة 1946 انبوباً فارغاً (كليسترون) يعطي موجة طولها 4 مليمتر ، فإنه في سنة 1960 فقط قام ب . فان إبيرن Van Iperen بوصف كليسترون ذي موجات من 2,5 مليمتر . والاختصاصيون في البلاسمات ، المزودين بالذريعة الحاسمة ذرية الميزانية المرتفعة ، توصّلوا إلى حثّ جهود البحث ، وبذات الوقت تولّد فضول جديد لدراسة انتشار الموجات المليمترية في الفضاء . وفي هذه السنوات الأخيرة تحقّق تقدّم سريع . في سنة 1957 توصّل آ . كارب Karp إلى موجة طولها 1,5 مليمتر بواسطة نواص ذي موجة معكوسة ، قريب من الكارسترون [هُزّاز الموجة المرتدة] وامكن التوصل إلى الذروة في سنة 1961 من قبل ج . كونفرت ويو- تا Yéou-Ta اللذين صنعا في فرنسا كارسترون ذا موجة طولها 0,7 مليمتر مما فتح المجال واسعاً للدخول في المجال تحت المليمترية . إلا أن الانابيب ذات التواتر العالي قد بلغت ذروتها نحو التواترات العالية . وتفاعل الالكترونات مع الحقل الكهرومغناطيسي يجب أن يحدث فيها ضمن احجام تصغر كلما قصر طول الموجة وتتم هذه العملية إنما بمرود منخفض إذ يتوجب تبديد كميات من الحرارة أكبر . وكان لا بد أيضاً من أجل انجاز الانابيب من بذل جهود متزايدة الضخامة رغم أن مبدأها يبقى صالحاً في الموجات تحت المليمترية .

وقام العديد من المؤلفين بتعديل الانابيب ذات التواتر العالي بهدف التحرر من هذه الحدود التكنولوجية . واقترح بانيل Pantell في سنة 1959 انبوباً يستخدم جهاز الرجوع السيكلوتروني [السيكلوترون جهاز لتحطيم نواة الذرة] للالكترونات في حقل مغناطيسي : وفيه استبدلت الحلقة الدورية من الأنابيب ذات الموجة المتصاعدة بمرشّد املس سهل الصنع . وبالرجوع السيكلوتروني أيضاً استعان جهاز الحقلين الكهربائي والمغناطيسي المتصاليين الذي صنعه آ . رديش Reddish ، وكذلك « مفتعل الاعاصير » الذي وضعه ج . ويبيل Weibel . إن انتاج الموجات تحت المليمترية بفضل الكترونيات ذات رجح سيكلوتروني يقتضي التحكم بحقول مغناطيسية متناهية الارتفاع . وما لم تستعمل الحيل للوصول إلى موجة طولها 0,1 مليمتر كان لا بد من حقل مغناطيسي فيه مليون أرسيد cersteds (وحدة الكثافة المغناطيسية) . ولهذا تتبع علماء الالكترون ، باهتمام ، التقدم الحاصل حديثاً في انتاج الحقول المغناطيسية المرتفعة ، وبصورة

خاصة بفضل اكتشاف معدات جديدة متناهية التوصيل . وقد تم أيضاً استخدام مولدات ذات توافق تناغمي تستخدم مفاعيل غير خطية متنوعة حاصلة بفضل موصلات نصفية من الحديديتات أو من ضمامم الالكترونات ، ومن الصعب التنبؤ بمستقبل هذه المعدات التي قد يوسع بعضها سُلَّم التواترات المحددة حالياً .

وفي بحثهم عن مولدات تحت المليمترية بدأ علماء الكهرباء اللاسلكية متشددين بشكل خاص . فهم يعرفون أنهم بتحكمهم « بالطور Phase » في موجة جيوية استطاعوا اعطاء الكهرباء اللاسلكية تطورها المدهش . ولهذا سعوا إلى انتاج موجة قريبة ما امكن من جيب مثالي يستطيعون التحكم بضخامته وتواتره وإذا امكن بتقعره . والتفكير في هذا المثال جعلهم يتكلمون عن موجات متماسكة باعتبار الضجة الحرارية هي المثل الحميم في البث غير المتناسك . في إطار هذا البعد تبدو المصادر العادية تحت الاحمر غير كافية ، ولا الجهاز الذي وضعه نيكولس وتير Tear (راجع الفقرة الرابعة) ، وحاولوا توسيع هدف الكهرباء اللاسلكية لتشمل الموجات تحت المليمترية ، وهو هدف وضعته لنفسها هذه الكهرباء منذ مطلع القرن : منطلقة من التواترات الدنيا لاهداث موجات متماسكة ذات تواترات دائماً متزايدة الارتفاع .

المولد النسبي - منذ سنة 1947 اقترح الروسي ف . جنسبورغ Ginsburg استخدام التشعيع المباشر للالكترونات السريعة جداً للحصول على اطوال موجات قصيرة جداً وبعد ذلك بعدة سنوات درس ب. كوليمان امكانية استخدام « مفعول دوبلر - فيزو Doppler-Fizeau » للحصول على تشعيع اعلى في تواتره من تواتر ذبذبات الالكترونات . ووضعت الفكرة موضع التنفيذ من قبل هـ . موتز Motz وو . ثون Thon ور . وايتهورست Whitehurst ، إنطلاقاً من سنة 1951 وذلك في « مذهبهم » : بواسطة الالكترونات صادرة عن حثا خطي ، واتباع مسار جيوي ، تحت تأثير حقل مغناطيسي اعتراضي ، حصلوا على الضوء المنظور ذي الكثافة وذي اللون المطلوبين . وهناك طريق آخر لاستخدام الالكترونات النسبية ، هو طريق تشعيع شيرنكوف وهذا الطريق قال به آبل Abele سنة 1952 . واتبعه من . سميت ويورسل اللذان امتحنا ضوءاً مرئياً في السنة التالية ، وذلك بتمريرهما ضمة من الالكترونات من عيار 300 ألف eV عبر شبكة معدنية . والواقع أن الضوء المستحدث لم يكن متماسكاً . في المولدات النسبية يقوم شرط التماسك على تجميع الالكترونات في حزمات ذات أحجام صغيرة بالنسبة إلى طول الموجة التي يجب استحداثها : وكل رزمة تشع عندئذ مثل « الكترون كبير » .

ولتحقيق هذا يجب تعديل الرزمة وعندها يعمل الجهاز كمُولد للمهرمونيكات [المنسقات] وعلى هذا تم الحصول على تشعيعات متماسكة ذات موجة من 8 مليمترات من قبل كل من دانوس وجشويد ولاشينسكي وفان ترير ، سنة 1953 بواسطة جهاز ذي « مفعول شيرنكوف » ؛ ومن قبل موتز في سنة 1953 بواسطة مذهب ؛ ومن قبل كوليمان وميركيس سنة 1957 ، بواسطة ألهم المسماة رباترون - هارمودوترون rebatron - harmonotron (الضارب المنسق) . ورغم هذه النتائج فإن انجاز المولدات النسبية ذات الموجات فوق المليمترية ، بدأ أمراً في غاية الصعوبة .

وللمحصول على نتائج حاسمة في هذا المجال ، بدأ من الضروري التخلي عن بعض الدارات المستخدمة في الذبذبات العالية لصالح عناصر مأخوذة من علم البصريات ، وفقاً للطريقة التي رسمها الكهربائيون اللاسلكيون قبل سنة 1900 . وعلى هذا في سنة 1960 عدل كوليومان وأندري جهازهما التجريبي للحصول على تشعيع مباشر بواسطة نظام ابصاري . وفي نفس الطريق قام كولشو بعمل طليعي عندما درم منذ سنة 1950 نقل المدخال [آلة قياس بواسطة التدخل الضوئي] الابصاري إلى مجال التوترات المرتفعة : فبين فيما بين ان الصفيحتين العاكستين في المدخال الذي وضعه بروت وفابري يمكن ان تلعب دور التجويف الرجعي أو الارجاعي . ومثل هذا الجهاز هو المستعمل في اللازر (النبع الاشعاعي) المكتشف سنة 1960 .

اللازر أو المشعاع - من بين الأساليب المقترحة لانتاج موجات تحت مليمترية ، كان استعمال المازرات واعداداً بشكل خاص ، وفي البث المحثوث تنسق الموجة الكهرمغناطيسية بث مختلف الفوتونات وتدخل التماسك في حين ان البث العفوي للفوتونات يتم بشكل احتمالي . وتجري بحوث في مجال الموجات المليمترية من أجل تحقيق مضخمات كمية ذات بلورات أو ذات نوافير غازية تشبه النوافير التي تعمل ضمن السلم الستيميتري . في سنة 1958 درس شاولو Schawlow وتاونس Townes إمكانية تحقيق مازرات تحت حمراء وإبصارية . وأهمية البث العفوي داخل المجموعة الضوئية حيث تظهر هذه المجموعة عن طريق استحداث الضوء الطبيعي يمكن أن تشكل بها : وبالفعل ان احتمالية البث العفوي تتزايد كمكعب للتوتر . وهناك احتمال بعدم تغلب البث المحثوث . ورغم هذه الصعوبة سارت مختبرات اميركية عدة في مجال تحقيق « المازر الابصاري » [المازر هومكبر اشعاعي] المسمى عموماً لازر من كلمة انكليزية Laser وتعني تضخيم الضوء بواسطة البث الاشعاعي المحثوث Light Amplifier by stimulated Emission of Radiation : (مضخم الضوء ببث الاشعاع المحثوث) .

في سنة 1960 جاء النجاح يتوج أعمال ت . ميمان من مختبر هيوز Hughes ، وبعد ذلك بقليل نجحت اعمال الباحثين في مختبرات بل : وكان للنتائج الباهرة المشهودة أثر القنبلة الذي شاع وذاع تدريجياً في الأوساط العلمية والتقنية . انه باستعمال الخيط من الفلوريسان في بلورة ياقوتية استطاع ميمان أن ينجز أول لازر : وكان هذا اللازر مضيقاً بعنف بالضوء الأخضر فتصدر عنه نبضات من ضوء أحمر ، وجعل وجهان متوازيان من البلورة عاكسين بواسطة معدنة بحيث يشكلان مرجعاً كان وضعه بيروه Pérot وفابري Fabry . وبين الوجهين كانت كثافة الطاقة الكهرمغناطيسية من القوة بحيث ولدت بشأ محثوئاً متميزاً بخيط دقيق جداً وزخيم جداً بشكل يفوق ما يصدر عن الخيط من الفلوريسان المحثوث بشكل عفوي . ويتركز التشعيع ضمن هذا الجهاز انه لا يعمل الا بواسطة النبضات . وسعت عدة مختبرات إلى الحصول على تشغيل دائم بواسطة بلورات أخرى : من فلورور الكالسيوم المنشط بواسطة ايونات أورانيوم أو بواسطة نربة نادرة ، وقد أعطى الفلورور هذا نتائج مفيدة وفي شباط سنة 1961 أعلن كل من آ . جافان وو . بينيت ود . هريوت عن وضع لازر غازي يحدث تشعيعاً دائماً في تحت الأحمر القريب من المرئي . ويوضع الغاز وهو مزيج من الهليوم والنيون في انبوب « مردادي اسمه بيروه - فابري » وفيه

يتم تعاكس المحتوى بين مستويات طاقة النيون بواسطة تفرقة كهربائية . وفي سنة 1962 استحدثت الباحثون في مختبرات بل أربعة عشر طولاً لموجات عن طريق بث اللازر وذلك باستخدام تفرقة غازات متنوعة ؛ ثلاثة منها لم يكن بالامكان رصدها بالبث العفوي .

ان تواتر الموجات المبعثة من قبل « اللازرات » يبدو محدداً بصورة أفضل من تواتر الخيوط المبعثة عفواً من قبل الذرات والجزيئات : ان عرض الخطوط هو بالآلاف المرات أضيق من عرض الخطوط الإبصارية غير الشفافة العادية ، ويمكن عملياً اعتبار اللازرات كمولدات للضوء المتواصل . هذه الخاصة مضافة إلى زخم البث وإلى تكثيف الطاقة ضمن خيط رفيع ، تبدو مفيدة بالنسبة للاتصالات اللاسلكية ، التي تستفيد من هذا السلم الطيفي العريض بشكل غير عادي . في الماضي ، حاول العديد من الباحثين تعديل الموجات المحدثة بفضل اللازرات . وهناك محاولات جارية لتحقيق توسيع مدى الرادار باسم كوليدار (Colidar) [اختصار لعبارة انكليزية هي : (Coherent light detection and ranging)] وتعني التقاط وقياس المسافات بواسطة الضوء المتماثل . ويمكن زخم الطاقة الحاصلة ، أيضاً ، تقرب تطبيقات عملية في مجالات متنوعة منها الجراحة ، ودراسة الروابط بين الجزيئات ، وصنع المعدات .

حتى لو أعطينا حصصاً للحساس الذي يعقب الاكتشافات الكبرى ، من المؤكد ان اللازر يفتح آفاقاً جديدة ، ربما كانت حتى الآن غير متوقعة ، في الفيزياء وفي التقنية المتعلقة بالاتصالات اللاسلكية . إلا أن اكتشاف اللازر لا يحل تماماً مسألة إنتاج موجات تحت ملليمترية متماسكة . خاصة يبقى هناك ثغرة واسعة يجب ردمها في سلم التواترات ، بين أطوال الموجات بين 0,7 مم و3 ميكرونات .

XI- الطاقة الكهربائية والبحث العلمي

ولا نستطيع انهاء هذا العرض لتطور الكهرباء والالكترونيات على الصعيد العلمي دون ذكر المسائل المطروحة بفعل إنتاج الطاقة الكهربائية ، رغم ان الشروط الاقتصادية والتقنية قد لعبت في تاريخها دوراً حاسماً كدور التقدم العلمي .

الطرق الكلاسيكية لإنتاج الكهرباء - في الواقع ، ان الأسس النظرية التي عليها يرتكز عمل الآلات الكهربائية كانت معروفة منذ اكتشاف قوانين الكهرومغناطيسية ، وخاصة قانون الحث في منتصف القرن التاسع عشر . وبعد الأعمال الطليعية التي حققها بيكسي Pixii سنة 1832 ، فتحت البحوث التي قام بها باسنيوتي Pacinotti سنة 1861 وسمينس Siemens سنة 1866 ، الطريق إلى اختراع الدينامو على يد غرام Gramme سنة 1869 . ولم تخرج ماكينات التيار المتناوب ، رغم انها أبسط من ماكينات التيار المتواصل ، إلا فيما بعد . من ذلك ان الماكينات ذات الدوران المتوافق مع التيار ، « التناوبية » حققها يهرطومسون (Elihu Thomson) سنة 1879 ، ثم سيمينس وهوبكسون سنة 1884 ، ووستنكهوس 1886 وتسلا Tesla سنة 1887 ؛ ومن بين مخترعي الموتورات « غير التناوبية » يجب أن يذكر مرسال دبرز M. Deprez (1883) ، وفراريس (Ferraris) (1886)

وكذلك تسلا (1888) . وبذات الوقت قام منظرون امثال جوبيرت Joubert ، وبين اشنبورغ Eschenbourg وأندره بلوندل Blondel وموريس لبلان Leblanc بوضع أسس حساب هذه الآلات . وهكذا تفصل عشرون سنة تقريباً اختراع المناوبات الأولى عن تحقيق مناوبات التفريغ اللاسلكي (T.S.F.) في حوالي سنة 1900 (راجع الفقرة III) .

في سنة 1882 أجوى مارسال دبريز M. Deprez أول تجربة علنية لنقل الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر في معرض ميونخ . في هذه الأثناء وفي نفس السنة أدى اختراع المحول على يد الفرنسي غولارد Gaulard والانكليزي و . ي . جيبس Gibbs إلى اعطاء مرونة أكبر لاستخدام التيارات التناوبية . في سنة 1891 ، أجرى تسلا أول نقل للطاقة الكهربائية بواسطة التيار المثلث المراحل (Triphase) [وهو تيار متناوب تنقطع تناوباته ، اثنين اثنين بمعدل 1/3 فترة الاقتران] على مسافة 175 كلم ، من لوفن إلى فرانكفورت . وقد ذكرنا ، في معرض البحث في نظرية الشبكات ، أسس حساب الماكينات الكهربائية وخطوط نقل الطاقة : مفهوم المعاوقة ، وتصوير المقادير الكهربائية بأعداد مركبة ، الخ . ويجب أن يضاف إليها ادخال مفهوم « القوة المنشطة » على يد بوشرو Boucherot ، آخذاً في الحساب التيارات التريعية التوتر .

وأتاح هذه الاعمال تطور الانتاج المدهش ونقل الطاقة الكهربائية في القرن العشرين : فبعد أن كان لا يذكر تقريباً سنة 1900 ، أصبح الانتاج العالمي ما يقارب من 400 مليار كيلواط ساعة عشية الحرب العالمية الثانية ، والتقدم مستمر ، مؤدياً إلى مضاعفة الانتاج تقريباً كل عشر سنوات : إذ تجاوز الفي مليار كيلواط ساعة سنة 1960 .

الواقع إن الجهاز الاساسي في انتاج الكهرباء ، وهو المناوب ، هو في نهاية سلسلة معقدة من تحويلات الطاقة . في المراكز المائية - كما في المراكز الجيحرارية التي هي قيد الدرس اليوم - تحول الطاقة الكامنة في كتلة ضخمة من المياه إلى طاقة حركية ، ثم تحول هذه الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية ، بواسطة مجمعات مكونة من فراش (توربينات) ومن محول مناوب . وفي المراكز الحرارية ، العاملة بواسطة الفحم أو الغاز أو مشتقات البترول تبدو السلسلة أطول : طاقة كيميائية ، حرارة ، طاقة ميكانيكية ، ثم طاقة كهربائية .

الكهرباء ذات المنشأ النووي - في المعامل النووية التي تستعمل تفاعلات انشطار الأورانيوم أو البلوتونيوم ، والاول منهما اشتغل أولاً سنة 1954 في الاتحاد السوفياتي ، وفيها تغيرت بداية سلسلة الاجهزة فقط ، فقد حلت الطاقة النووية المحدثه بفضل خازن [« بطارية »] ذري محل الطاقة الكيميائية كمصدر للحرارة : ومثل هذه المفاعلات قد رُكبت في العديد من البلدان .

بالمقابل أن الاعمال الجارية لتدجين الانشطار النووي قد تؤدي إلى طرق مختلفة جداً في انتاج الطاقة الكهربائية فتفاعلات الانصهار أو الالتحام ، الشبيهة بتلك التي تحصل في الكواكب ، تُعَمِّل عناصر خفيفة مثل الديوتيريوم والتريتيوم والهليوم والليثيوم . ومن أجل تحقيق هذه التفاعلات ، يكفي من حيث المبدأ ايصال المحروق النووي إلى ما يقارب مئة مليون درجة ثم الإبقاء عليه فيها مدة طويلة . وقد سبق وأشرنا ، بمناسبة الغازات المؤينة (الفقرة IX) إلى الاعمال النظرية المهمة

والتجريبية أيضاً التي هي قيد التنفيذ . هذا المجهود المبذول منذ 1951 ، قد تزايد منذ 1955 ، بعد مؤتمر مهم عقد في جنيف . والتوقعات حول نتائج هذه الدراسات هي متفائلة تارة ومتشائمة تارة أخرى : في سنة 1955 ، تنبأ الفيزيائي الهندي بهابها Bahabha بأن المسألة تحل بحلول عشرين سنة . وفي السنة التالية كتب الفيزيائي الأميركي ريشار پوست R. Post ، وقد لاحظ قلة عدد الفيزيائيين المقبلين على بحث الحركة الدائمة ، بسبب قانوني الترموديناميك [التحرك الحراري] الاول والثاني ، يقول : « يؤمل بأن لا يقع مفاعل الانصهار ضمن هذه الفئة من الجهود » . إن مسائل الاستقرار أو تشعيع البلازما ، يمكنها بالفعل ، ان تصعب جداً تحقيق الانصهار المحكوم في المختبر . ومع ذلك تالت البحوث بدأب وتحققت انجازات مهمة . ولتبرير هذا الجهد في البحث يكفي التذكير بالاعتقاد بأن الدوتيريوم في المحيطات ، لوحده فقط ، يشكل احتياطياً طاقوياً يكفي لتغذية العالم طيلة مليار من السنين ، حتى ولو بلغ الانتاج الف مرة وتيرة الانتاج الحالي : تجاه هذا فان كل موارد الطاقة الاخرى تبدو محدودة للغاية .

طرق جديدة لإنتاج الطاقة الكهربائية - بانتظار هذا الدفق الضخم من الطاقة ما يزال المولد والمغناطيسي المائي الديناميكي ، الذي يمكنه بصورة مباشرة تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية ، موضع تجارب في عدة مختبرات . وهناك طرق عدة تُكتشف أيضاً لتحويل الحرارة إلى كهرباء ، دون تدخل من الماكينات الدوارة . إن فيزياء الجامد تقدم حلين لهذه المسألة : « الفوتونيل » أو الخزانات الكهربائية المحققة بفضل وصلات نصف موصلة ، وقد استعملت على ظهر الاقمار الصناعية ؛ ثم تقدم « العناصر الحرارية » نصف الموصلة التي مكنت في السابق من تحقيق انجازات مفيدة ، مركزة على خصائص المزدوجات الحرارية الكهربائية . وبأن واحد ، جذدت اطروحة ج . هاتسوپولوس G. Hatsopoulos سنة 1956 الاهتمام بالقلاب الحراري الايوني : في هذا الجهاز ، تحدث الالكترونات الصادرة عن القطب السليبي (كاتود) الحار تياراً داخل حلقة خارجية تحت ضغط من عدة فولتات . ويمكن لهذه الاجهزة ، ان توصلت إلى متزوج كلف ، ان تظم إلى مفاعلات نووية . وبناء عليه تتضمن المولدات « سناپ = SNAP » ، الأميركية ، التي هي قيد الدرس من أجل تزويد الاقمار الصناعية ، مصدر وقود نووي وبطاريات حرارية « ترموبيل Thermopile » ذات موصلات نصفية .

وأخيراً يعمل العديد من المختبرات من أجل جهاز يحول مباشرة الطاقة الكيميائية إلى طاقة حرارية : البطارية ذات الوقود . في حين أن البطاريات العادية تعيش حياة قصيرة جداً ، وفي حين أن الخزانات [البطاريات] التي اخترعها بلانتي Planté سنة 1860 يجب إعادة تعبئتها بصورة دورية ، فإن البطاريات الجديدة يكفي فيها وجود ذخيرة كبيرة من الوقود ، الهيدروجين وافضل منه الهيدروكربور . والبطارية ذات الوقود الشائعة دراستها أكثر تعود إلى فكرة قديمة جربها غروف Grove سنة 1839 : تحويل طاقة اعادة دمج الجزيئات الهيدروجينية بالأكسجينية مباشرة إلى طاقة كهربائية ، في الوقت الذي تكون فيه هذه الطاقة الدمجية بشكل حرارة اشتعالية . وتتضمن البطارية ذات الوقود قطباً هيدروجينياً ، وقطباً أكسجينياً ووسطاً كتروليتيكياً [« محلول يتجزأ إلى كهرباء

سالبية وموجبة » [وسيطاً ، تضاف إليها احتياطات من الاوكسجين والهيدروجين .

إن هذه الوسائل الجديدة لانتاج الكهرباء لا تطمح إلى الحلول محل الطرق التقليدية . إلا أنها ذات أهمية ضخمة في التطبيق العملي مثل تغذية الأقمار الصناعية بالطاقة ونتاج الكهرباء انطلاقاً من الطاقة الشمسية ، وكذلك من أجل تحسين انتاجية المولدات الكلاسيكية .

إن التقنية الكهربائية بعد أن كرست نفسها طيلة قرن من الزمن لوضع قوانين ظاهرة للعيان في مجال الكهرباء ، أخذت تميل بالتالي إلى الاقتراب من الالكترونىك [استخدام الالكترونات] الذي قدم ، من وجهة نظر علمية الخدمة الرئيسية في القرن العشرين لتاريخ الكهرباء وذلك باكتشاف الأواليات الميكروسكوبية التي عليها تركز القوانين المكتشفة في القرن التاسع عشر . فانطلاقاً من أفكار حول النظرية الحركية في الغازات ، أخذت النظرية تتعقد بصورة تدريجية وذلك بادخال قوى بعيدة المدى بين الجزيئات ، وبتغيرات مرتبطة بتطور النظريات الكمية : وليس من طريقة أفضل لملاحظة ذلك ، من تتبع تطور نظرية ظاهرة كهربائية خاصة .

وهناك مثل جميل هو مثل أوالية أو توصيل الكهرباء داخل الاجسام الصلبة ، أي التفسير الميكروسكوبي لقانون أوهم Ohm . منذ بداية القرن اتاح اكتشاف الالكترونات إلى بعض الطليعيين امثال طومسون وريكي Riecke ودرود Drude ولورنتز أن يعطوا نظرية أولى استطاعت رغم عدم كفايتها ، أن تحقق نجاحات اكيدة . فقد بينت أنه يوجد داخل الموصلات ، الكترونات توصف بانها « حرة » وهي كذلك نسبياً . وهذه الالكترونات تتحرك تحت تأثير حقل مغناطيسي فتؤمن نقل الكهرباء ، رغم أن تفلاتها تضايق بوجود الايونات . والتقدم اللاحق في نظرية توصيل الكهرباء ارتبطت ، من جهة باكتشاف قوانين تحكم بالسلوك الاحصائي للالكترونات الموجودة (احصاءات فرمي وتطبيقها من قبل سومرفيلد على الموصلات) ، ومن جهة أخرى باكتشاف الميكانيك الذي يتحكم بحركة الجزيئات على الصعيد الميكروسكوبي (الميكانيك التذبذبي والنظريات الجديدة الكمية) . وعندها امكن توضيح مفهوم الالكترونات الحرة داخل الجوامد (نظرية الاحزمة) ، وفهم ما يميز الموصلات عن العازلات وعن نصف الموصلات وبالتالي تفسير الصفات الكهربائية لهذه الموصلات النصفية وذلك بادخال فكرة « الثقب أو الثغرة » وهي التي تعبر عن تأثير الشبكة البلورية على انتشار الموجات التي يربطها الميكانيك التذبذبي بالالكترونات وبكل جزيئية ميكروسكوبية . ويتوجب أيضاً ادخال مفاهيم خاصة لترجمة السلوك الجماعي الذي تسلكه الايونات في شبكة ما (مفاهيم الفوتون) وسلوك الالكترونات (مفهوم البلاسمون) . وأخيراً يتوجب في ضوء هذا الميكانيك الكمي ، توضيح ما كانت تسميه نظرية درود القديمة « صدمات بين الالكترونات والايونات » ؛ بدلاً من الصورة المبسطة للاستخدام بين طاباات البليار ، يتوجب احلال أواليات التضائل التي اصبح وصفها ودراستها أكثر فاكثرت تعقيداً : وهي التي سوف تعيد التوازن الحراري الديناميكي عندما يتوقف تدخل قوة خارجية مثل تطبيق حقل كهربائي ؛ وفعاليتها ، أي فعالية هذه الأواليات ، في لعب دور عامل الرجوع إلى التوازن تقام بواسطة « زمن الارتخاء » وتطبيق مفاهيم مماثلة على نظرية الغازات المؤينة مع وجود فارق هو أن المحتوى

الالكتروني أقل ثقلاً ، ولذا يمكن أن يُكتفى فيه في أغلب الاحيان بالميكانيك الكلاسيكي ، ولاستكمال هذه النظرية الشاملة إلى المفاهيم الحاضرة حول توصيل الكهرباء في المادة ، يتوجب أيضاً ذكر دور عامل النقل المعزول إلى الايونات في الاوساط التي لا يوجد فيها الكترونات حرة أو محاليل أو عازلات . إننا بعيدون جداً عن النظريات البسيطة في بداية القرن إلا أن فكرتها الاساسية باقية رغم أنها قد تعقدت حين تحدت .

إن معرفة الاواليات الميكروسكوبية تعطي للعلماء وللتقنين قوة متزايدة تظهر بشكل خاص في التطبيقات العملية للالكترونيك . نحن نعرف اليوم كيف نستخرج الالكترونات من المادة لكي نشغلها في الانابيب المضخمة ، وفي الميكروسكوبات (مجاهر) الالكترونية ، وفي المسابر الالكترونية الانشقاقية الالكترونات أو ذات الاشعة السينية ، وفي الانابيب الامتشفائية الضوئية وفي المسرعات الالكترونية . والجوامد لم تعد تستخدم فقط كموصلات للكهرباء أو كعازلات : فقد اصبح بالامكان استخدام الخصائص الكهربائية الأكثر رهاقة مثل البيزوكهرباء [مجمل الخصائص الكهربائية المحدثة بالضغط على بعض الاجسام] ، وخصائص الموصلات النصفية ، أو النقل الكائني (الكمي) داخل العازلات الكهربائية . ومن أجل تشغيلها يمكن صنع معدات جديدة في درجة قصوى من النقاء والكمال البلوري . إن هذا التقدم في معرفة الخصائص الكهربائية للمادة قد أعطى للالكترونيك خصباً يتزايد باستمرار : يكفي التذكير باختراعات الأكثر حداثة مثل الترانزستور ، والمازر ، والمضخمات المعيارية ، وأخيراً اللازرات .

واستفاد العلم من هذه الاختراعات ، وهي ثمار مشتركة من ثمار التقدم العلمي والتكنولوجي . ويجب أن نذكر في بادئ الامر دور الالكترونيك في علم المقاييس : فكل مختبر حديث ، سواء اهتم بالفيزياء النووية ، أو بفيزياء الجوامد ، أو حتى بالكيمياء أو بالبيولوجيا ، يستعين بالآلات الكترونية ، إن نتائج القياسات تستخدم عادة بواسطة حاسبات الكترونية هي ، من جهة أخرى ، ضرورة القيادة معظم النظريات وإيصالها إلى النتائج العددية . واستكشاف المادة يتحكم بمعدات في غاية الفعالية في مجال التسجيل الطيفي (Spectroscopie) الهرتزي ، وبالمعدات الابصارية الالكترونية ، في حين أن علم الفلك الضوئي (Radio-astronomie) هو باب جديد مفتوح على الكون . ودور الالكترونيك والكهرباء الضوئية في دراسة الفضاء بواسطة الصواريخ والاقمار الصناعية لا يقل عن ذلك أهمية : إن النصب الذي يعود إلى دراسة الفضاء يتضمن القيادة اللاسلكية ، والقياسات ثم إعادة نقل النتائج إلى الارض .

والتطبيقات التقنية لعلم الالكترونيك معروفة أكثر من الجماهير : البث الاذاعي ، الاتصالات البعيدة المدى بواسطة الخطوط والكابلات متحدة المحور ، بواسطة البث « الراديو » أو الحزمات الهرتزية ، والتلفزيون والرادار ، والتوجيه الراداري ، والالكترونيك الصناعي ، والتوجيه من بعيد ، والقياس من بعيد . وانتشار هذه التطبيقات العملية ليس بعيداً عن تاريخ الالكترونيك ، حتى على الصعيد العلمي : ويتج عن ذلك مساهمة مهمة من جانب الصناعة في البحث ، سواء عبر نشاطات المختبرات الصناعية التي تذهب في البحث إلى الاساس ، أم عبر الدعم المالي

الذي يحفره ويوجهه .

في السنوات المقبلة سوف يتحدد تطور الالكترونىك - حتى كعلم - وفي معظمه بالحاجيات الانتفاعية : البحث عن تواترات مرتفعة من أجل الاتصالات البعيدة ، وأكثر من ذلك ، من أجل استقصاء المادة ، ومن هنا البحث حول الموجات المليمترية وتحت المليمترية ، وكذلك حول اللازرات ، والاحتياج إلى مرسلات ذات قوة عالية ، مما يؤدي إلى دراسة الأنايب « العالية القوة » التي تضاعف بأكثر من عشر مرات القوة المتاحة اليوم ؛ الأعمال حول لاقطات الضجة الضعيفة جداً (أنابيب ، الترانزيستور ، المضخمات المعيارية والمازرات) ؛ تصغير التجهيزات خاصة عبر البحوث الفضائية ، والحاسبات ، وكذلك المرسلات الذاتية الالكترونية الجاري درسها بخصوص التلفونات ، مستخدمة فيزياء الجوامد والتكنولوجيا الجديدة للمركبات الالكترونية ؛ مسائل إنتاج الطاقة الكهربائية التي اشرنا إلى بعض مظاهرها الجديدة .

وقد رأينا أيضاً أن نظرية الخصائص الكهربائية للمادة تطرح أيضاً مسائل ، تشكل كذلك امكانات تطويرية . إن فيزياء البلازما المزدهرة حالياً تظهر خصائص أكثر تعقيداً مما كان يظن في بادئ الامر . ففيزياء الجوامد التي قلبت نتائجها الباهرة الالكترونىك تقتضي أيضاً تحسينات ، سواء فيما يتعلق بالعازلات أو بالمرسلات النصفية أو بالموصلات المرهفة ، وبصورة خاصة أن التقدم الحديث في مجال التوصيل الدقيق الحاصل بعد اختراع المازرات يشر بولادة الالكترونىك ذي درجة حرارة منخفضة .

ولمعالجة المسائل العالقة ، وللوصف الدقيق لكل تعقيدات الظواهرات الميكروسكوبية ، يتوجب على الفيزيائيين الاستعانة بكل الوسائل الاقوى في الفيزياء الرياضية ، سواء في اطار الكهرمغناطيسية الكلاسيكية ، أم في اطار النظريات الكمية . إلا أن بعض المجالات ، في هذه الاخيرة ، مثل النظرية الكمية للحقول ، أو الكهرياء المتحركة الكمية ، تبقى حتى الآن قليلة الاستعمال في الالكترونىك : وادخالها ربما بدا ذات يوم ضرورياً وخصباً . إلا أن تفحص الاعمال الجارية حول المازرات واللازرات يدل على أن نظرية الكهرمغناطيس الكلاسيكية تقدم مساهمة مهمة في هذا المجال فعندما يقتضي الامر تحليل الخصائص في الحلقات وفي المرجعات ، ودرس التشعيع الحاصل ، فإن مفهوم الموجة الكهرمغناطيسية ، كما تصوره خلفاء مكسويل ، يبقى هو الاسهل حتى الآن . إن الفيزيائيين يستطيعون عندها اللجوء إلى البناء الجميل للفيزياء الرياضية ، هذا البناء الذي اقيم على أثار اعمال لورنتز ، وبوانكاريه وسومرفلد والذي يعتبر كتاب ستراتون Stratton « النظرية الكهرمغناطيسية » أحد افضل مما عرض عنه حديثاً . إن هذه النظرية ، التي يمتد مجالها أيضاً إلى علم البصريات كما إلى علم الكهرياء الاشعاعية ، لا تعالج فقط الحقول الكهرمغناطيسية التي أصبح توزعها في الفضاء وتطورها عبر الزمن محددين تماماً . لا شك أنها تركز نفسها بشكل خاص لدراسة الانظمة الجيوية و لدراسة الانظمة الكهربائية المتغيرة ، فتستخرج منها ، بفضل تغييرات فورييه ولا بلاس ، شكلاً جديداً حديثاً للحساب العملياتي الذي جاء به هيفيسيد (Heaviside) . ولكن اعمال ب . هـ . فان سبترت (P.H. Van Cittert 1934)

وف . زرنيك F. Zernike (1938) ، ثم اعمال ي . وولف E. Wolf وآ . بلانك - لايبير A. (1955) Blanc-Lapierre حول التماسك ، قد اتاحت تضمينه حقولاً تنسم مرحلتها واتساعها بالاحتمالية والمصادفة إلى حد ما ، كمثل تلك الحقول الناتجة عن تراكم التشعيعات الصادرة اسفللاً وتلقائياً عن الذرات . هذه الاعمال ذات الاهمية البالغة سابقاً في مجال البصريات ، اصابها تطور جديد مع ولادة الالكترونيات الكمي الذي يقوي الرابط بين الراديو كهرباء وعلم البصريات ، هذا الرابط الذي قام في القرن التاسع عشر بفضل النظرية الكهرمغناطيسية التي وضعها مكسويل .

النشاط الاشعاعي والفيزياء النووية

I - من اكتشاف اشعة ايكس (X) الى اكتشاف النيوترون (1895-1930)

اكتشاف اشعة X - في سنة 1895 ، كانت مفاهيم الذرة والجزيء قد اعتمدت بشكل شبه عالمي بعد الاعمال التي قام بها دالتون Dalton ، وبروست Proust وافوغادرو Avogadro ، الخ . ولكن بنية الذرة بقيت مجهولة : فكانت الذرة تعتبر وكأنها العنصر النهائي الاقصى في كل جسم بسيط ، وكان الظن سائداً انه يوجد منها انواع تتنوع بتنوع الاجسام البسيطة .

وفي ذات الوقت قدمت الدراسات حول الكهرباء معارف جديدة ، خاصة بعد ذبوع الموجات الكهرومغناطيسية (هرتز 1887) ، ولكن تجارب التفريغ في الغازات النادرة ، مهما كانت عديدة ، لم تسلم اسرارها ؛ وليس قبل سنة 1896 استطاع ج . ج . طومسون اكتشاف الالكترتون ، وبعد ذلك بسنوات ، قياس التفريغ الذي يحمله هذا الالكترتون - والذي يساوي شحنة يفرغها ايون وحيد الصلاحية - مما اتاح اعتبار هذا الالكترتون « كذرة حقيقية بالنسبة الى الكهرباء » (انظر الفقرة I من الفصل السابق) .

وقبل ذلك بستين (1895) كان و . ك . رونتجن W. C. Röntgen قد اكتشف اشعة X (السينية) . في مختبره في ورزبرغ ، لاحظ رونتجن لأول مرة وجود اشعة غير مرئية ، تنتشر خارج لمبة ذات اشعة كاثودية [سالبة] مغطاة باوراق سوداء ، ومن شأن هذه الاشعة ان تلمع شاشة من بلاتينو سيانور الباريوم . وسماها باسم اشعة X (ايكس) . وجاءت اعمال رونتجن تنمة لاعمال عديدة جرت وتناولت الاشعة الكاثودية خاصة من قبل فيلار Villard ، وكروكس Crookes وويشرت (Wiechert) . وقد بين جان بران J. Perrin بان الاشعة الكاثودية كانت تتألف من رزمة من الالكترونات السريعة . عدا عن تأنيوها في الشاشات اللاصقة (المشعة) ، اثبت رونتجن بان الاشعة الجديدة المجهولة تؤثر في الصفيحة الفوتوغرافية وتؤين الهواء المحيط بها . وبين كذلك بان اشعة X قادرة على اختراق الكثافات من المادة المهمة نسبياً وهي تُمْتَص بصورة اقوى من قبل العناصر ذات الوزن الذري العالي . واستخدم هذه الخصوصية فاجرى اولى الصور للعظام داخل الكائن الحي (وقد ذكرنا تاريخ تقدم التصوير الاشعاعي (راديولوجي) في دراسة ر . دبيري R. Debré وج . ديبكوا G. Desbuquois في الفصل الاول من القسم الخامس) .

وجرى تقدّم سريع في صنع الانابيب ؛ ادخال « ذيل القطب السليبي » « انتيكاتود » ، ثم في سنة 1913 تمّ وضع انابيب الكاتود الساخن من قبل كويليدج Coolidge وذلك بعد اكتشاف بث الالكترونات من قبل الاجسام المشعة .

وبعد اعمال رونتجن ، لم يحصل ، في مجال اشعة ايكس ، اي تقدم اساسي الا بعد مضي خمس عشرة سنة على يد فون لو Von Laue الذي أثبت ان اشعة ايكس هي تشعيع كهرومغناطيسي ذو طول موجة قصير (راجع بهذا الشأن دراسة ج . اورسل J. Orsel) في الفقرة الاولى من الفصل II من القسم الثالث) وعلى يد موزلي Moseley الذي ربط اطيف الخطوط التي تتميز بها اشعة ايكس ، بالبنية الالكترونية للذرات (الفقرة الثانية من الفصل XI من هذا القسم) . وكان لاكتشاف اشعة ايكس ، زيادة على تطبيقاتها العملية الآنية ، أهمية بالغة جداً في كل التطوير اللاحق الذي أصاب الفيزياء .

توجد صورة مبسطة وسهلة للذرة ، أصبحت اليوم كلاسيكية ، هي النموذج الذي وضعه رودرفورد - بوهر (Rutherford - Bohr) (1911-1913) وفيها تبدو الذرة ذات نواة مركزية مشحونة ايجابياً ، محاطة بالكترونات تدور فوق مدارات دائرية أو اهليلجية (بيضاوية) ، وتحتل نواتها المركز أو احدى البؤر . والمجمل متوازن حيادي من الناحية الكهربائية ؛ بالنسبة الى ذرة من الرقم الذري Z ، وشحنة النواة تمثل بـ $+Ze$. فوق هذه المدارات ، لا تشع الالكترونات ، المتحركة طاقة ، ولكنها ، عندما يمر الكترون من مدار الى مدار ، يحصل تبادل للطاقة مع الوسط الخارجي ، وذلك عموماً بواسطة فوتون يكون تواتره ν بحيث نحصل على المعادلة $h\nu = E_i - E_f$ ، وفيها تمثل E_i و E_f طاقات الاتصال في الكترون بين حالته الاصلية وحالته النهائية .

وهكذا تنتج الاشعة السينية المميزة عن انتقالات الالكترونات بين الطبقات الاكثر التصاقاً في الذرة (K, L الخ) . ووقع الكترونات ذات طاقة كافية على ذرات هدف ما من شأنه ان يحدث اشعة سينية مميزة وذلك بانتزاع الكتروني من الطبقات الداخلية من بعض الذرات . ولكن بطء الجزيئات المسرعة ، وخاصة الالكترونات ، بالمرور من قرب المراكز المشحونة يحدث تشعيعاً كهرومغناطيسياً يسمى تشعيع الكبح وهو يفسر الطيف المستمر في اشعة ايكس .

في الوقت الذي اعتبرت فيه بنية الذرة معروفة بما فيه الكفاية ، بالمقابل ، وازغم الجهود المبذولة العظيمة طيلة هذه السنوات الثلاثين الاخيرة ، من قبل فيزيائيين عديدين ، بقيت بنية النواة سراً غامضاً . ان النواة هي نظام معقد مكون من بروتونات ومن نوترونات . وهو كمركبه الالكتروني ، قد يتواجد في حالة من الطاقة لا تتوافق مع حالة الطاقة الاقل ؛ وعندها يتلقى دفعاً نحو هذه الحالة التي تظهر نفسها بشكل تحرير طاقة . وبعض النوى قد تظل لمدة طويلة في حالة السكون المطلق هذه (حتى مئات الملايين من السنين) وتتلقى في لحظة ما تحولاً ؛ عندها يقال انها اصبحت مشعة ناشطة . وتتحرك الطاقة بشكل تشعيعات متنوعة ؛ ورصد هذه التشعيعات لأول مرة هو الذي اتاح لـ هـ . بكيريل H. Becquerel سنة 1896 ان يكتشف النشاط الاشعاعي .

ويمكن ، مع النشاط الاشعاعي اعتبار ليس فقط ان حقبة جديدة قد طرأت على الفيزياء ، بل ان تطورات جديدة قد ظهرت في كل المجالات المعرفية ، وحتى في البنية البشرية . وقد

نتجت هذه الاكتشافات عن اعمال دؤوبة عرفت عبقرية الخبراء المجريين المتتالين كيف تنور فيها ظاهرات غير متوقعة .

اكتشاف النشاط الاشعاعي - ان اكتشاف النشاط الاشعاعي من قبل هنري بكريل سنة 1896 قد لحق ، عاجلاً ، باكتشاف الأشعة السينية . وقد أمكن التثبت منها بفعل الاشعاعات فوق الصفيحة الفوتوغرافية . .

وقد ذكرت ماري كوري الظروف بشكل حي : « ان منشأ اعمال بكريل Becquerel يرتبط بالبحوث الملاحقة منذ اكتشاف اشعة رونتجن واثرها الفوتوغرافي على المواد الفوسفورية والمشعة .

كانت الأنابيب الأولى المنتجة لأشعة رونتجن أنابيب بدون « ذيل قطب » معدني . وكان مصدر اشعة رونتجن موجوداً على غشاء الزجاج المسطحة عليه الاشعة الكاثودية ؛ وبذات الوقت كان هذا الغشاء مشعاً للغاية . وعندها امكن التساؤل اذا كان بث اشعة رونتجن لا يقتصر بالضرورة بانتاج التشعيع ، مهما كان سبب هذا الاخير . وكانت هذه الفكرة قد اعلن عنها هنري بوانكاريه في بادئ الامر .

وبعد ذلك بقليل ، اشار العديد من المجريين الى امكانية الحصول على مطبوعات فوتوغرافية عبر ورق اسود بواسطة سولفور الزنك المشع ، وبواسطة سولفور الكالسيوم المعرض للضوء وبواسطة ركاز الزنك (بلند) السداسي الاصطناعي المشع . ان التجارب التي سبق ذكرها ، لم يمكن تكرارها رغم المحاولات العديدة الجارية لهذه الغاية . وإذا لا يمكن على الإطلاق التسليم بثبوت ان سولفور الزنك (التوتيا) وسولفور الكالسيوم من شأنهما تحت تأثير الضوء ، بث اشعاعات غير منظورة تخترق الورق الاسود وتعمل في الصفائح الفوتوغرافية .

أجرى هـ . بكريل تجارب مماثلة على املاح الاورانيوم التي كان بعضها مشعاً . وحصل على مطبوعات فوتوغرافية ، عبر الورق الاسود مع السولفات المزدوج من الاورانييل واليوتاسيوم . واعتقد بكريل في بادئ الامر ان هذا الملح ، الذي هو مشع ، سوف يتصرف كما سولفور الزنك وسولفور الكالسيوم في التجارب التي سبق وصفها بهذا الموضوع . ولكن تممة التجارب اثبتت ان الظاهرة المرصودة لم تكن على الإطلاق مرتبطة بالتشعيع . ولم يكن من الضروري ان يكون الملح مضاءً ؛ ثم ان الاورانيوم وكل مركباته ، المشعة أو غير المشعة ، تتصرف نفس الشيء ، والاورانيوم المعدني هو الاكثر نشاطاً . ووجد بكريل فيما بعد ان مركبات الاوران ، إذا وضعت في الظلام الكامل ، تظل تطبع الصفائح الفوتوغرافية عبر الورق الاسود ، طيلة سنين عديدة . وافترض بكريل ان الاورانيوم ومركباته تصدر اشعة خاصة : هي الاشعة الاورانية (ماري كوري كتاب النشاط الاشعاعي 1910) .

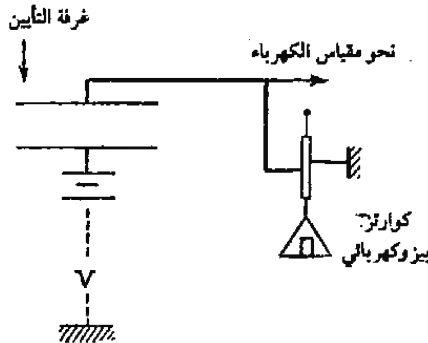
قيل في بعض الاحيان ان اكتشاف بكريل هو وليد الحظ أو المصادفة . والواقع ان الحظ الذي لقيه بكريل يكمن في انه ركز انتباهه على املاح الاورانيوم وكان هذا المعدن معروفاً منه

تماماً . ولكن يجب ان تُعجب بعنائه بعمله . فقد عرّض بكريل املاح الاورانيوم للشمس ليجعلها مشعة . وعندما اعوزته الشمس ، ترك ملح اورانيوم في الدرج بالقرب من صفحة فوتوغرافية ، وأولاه عنيته بأن « ظهرها » قبل أن يبدأ تجاربه . ولاحظ انها قد انطبعت ، وعندها ادرك انه لا توجد اية علاقة بين التشعيع وهذا المفعول الفوتوغرافي .

العناصر الاشعاعية : البولونيوم والراديوم - تابع بكريل اعماله وبين ان « الاشعة الدورانية » من شأنها كما اشعة رونتجن ، ان تجعل الهواء المحيط بها موصلاً . ومنشأ هذه الطاقة المستمرة الانبعاث اثار اهتمام بيار وماري M. Curie (المولودة من عائلة سكلودوسكا) ؛ وقررت ماري كوري بناء لنصيحة ب . كوري القيام ببحوث حول هذا الموضوع . وبدأت عملها في 16 كانون اول 1897 .

تختصر الصورة 7 الجهاز التجريبي الذي استعملته م . كوري ابتداء من 20 كانون الثاني 1898 والذي يتيح قياساً كيمياً للتأين الحاصل بواسطة اشعة بكريل .

ان الشحنات الكهربائية الملتقطة في سطح غرفة التأين يعوض عنها بالشحنات المتفاعلة فوق صفيحة من الكوارتز عندما تخضع هذه الصفيحة لجهد ميكانيكي . ان هذه القاعدة في قياس التيار الضعيف جداً كان قد وضعها جاك وبيار كوري ؛ وهي تستخدم ظاهرة البيزو كهربائية (الضغط) التي قاما باكتشافها .



صورة 7 - قياس التأين المستحدث بفعل أشعة بكريل (ماري كوري 1898) .

لاحظت ماري كوري في الحال بواسطة قياساتها الدقيقة ان التشعيع هو خصوصية ذاتية لذرة الاورانيوم ، وان زخم هذا التشعيع يتناسب مع كمية الاورانيوم المحتواة في الملح . وبحث أيضاً فيما اذا كانت مركبات اخرى تمتلك نفس الخصوصية وبينت ، بذات الوقت مع ج . شميدت ، من مونستر Münster ، ان الثوريوم يغطي تشعيعاً مماثلاً لتشعيع الاورانيوم . واقتربت اطلاق اسم « المشعات الناشطة » على المواد التي تصدر عنها اشعة بكريل وان يطلق اسم النشاط المشع (Radioactivité) على هذه الخصوصية الجديدة ، والعناصر التي تحتوي هذه الخطوط هي « العناصر المشعة » . ولاحظت وهي تقوم بهذا العمل ، بعد ان كانت تفحص ليس فقط املاحاً

محضرة في المختبر بل أيضاً أشياء معادن (مثل بشلاند ، شالكوليت وأونونيت ، وثوريت ، الخ .) ، ان بعضاً منها يمتلك قدرة تشعيعية غير اعتيادية ، تفوق بكثير القدرة التشعيعية التي كان يمكن توقعها من خلال ما فيها من أورانوم أو ثوريوم .

من ذلك مثلاً ان البشلاند (معيدن اوكسيد الاوران) يمتلك قدرة تشعيعية تفوق باريق مرات قدرة الأورانيوم ، وإن الشالكوليت (فوسفات النحاس والأوران المتبلر) أكثر تشعيعاً من الأورانيوم . في حين أن أي معدن لم يكن ليبدو أكثر نشاطاً من الأورانيوم والثوريوم .

ولشرح هذا الحدث الممجب طرحت ماري كوري فرضية وجود مادة جديدة أكثر نشاطاً إشعاعياً من الأورانيوم او من الثوريوم . وتعاون بيار وماري كوري بصورة أوثق من اجل محاولة عزل هذا العنصر الجديد (اذار 1898) . وكانت جهودهما تبذل ضمن ظروف مادية مأسوية بشكل خاص . فتوصلتا الى اكتشاف البولونيوم واذاًعاً النبأ في 18 تموز 1898 ، والى اكتشاف الراديوم (26 كانون الأول سنة 1898) .

ان وجود هذه العناصر الجديدة ، وان بدا أكيداً ، فقد تحفظ العديد من العلماء في اعتماده . وبحث بيار وماري كوري علي الحصول منها على كميات اكتر اهمية . فقد سبق لديمارسي Demarçay ان حقق على عينة من الباريوم المشع ذي النشاط المتفوق بستين ضعفاً على الأورانيوم ، خطأً جديداً ببار 3815 Å اسند الى الراديوم . ولكن بعد عمل ناشط وطويل حصل بيار وماري كوري على املاح الباريوم اكثر فاشكراً تركيزاً بالراديوم مكتتهما من استشفاف وجود قلوي تروابي اقل من الباريوم . في سنة 1902 (تموز) استطاع بيار وماري كوري ، بعد جهد فادح ، اعداد 100 ملغ من كلورور الراديوم النقي وقد كان اول تحديد للوزن الذري لهذا العنصر . ومنذ 1904 ، انشأ الصناعي الفرنسي ارمت دي ليسل Lisle ، أول صناعة لاستخراج الراديوم . وفي سنة 1910 استطاعت ماري كوري وآ . ديبيرن Debierne ، بعد تحليل (الكتروليز) كلورور البواديوم المذوب ، عزل الراديوم بحالته المعدنية ، مما اقر بشكل كامل فردانية هذه المادة الجديدة . ويمكن تتبع تطور هذه البحوث الرائعة في سجلات مختبر بيار وماري كوري ، بعد نقل محتواها الى كتاب ماري كوري عن « بيار كوري » (باريس 1955) .

تطور البحوث حول النشاط الاشعاعي - اطلقت اعمال بيار وماري كوري عدداً ضخماً من البحوث . فقد تم اكتشاف العديد من العناصر المشعة تبعاً وفقاً لطرق البحث التي وضعها .

لقد تم عزل الاكتينيوم من قبل آ . ديبيرن Debierne (1899) والراديوم D المسمى يومئذ الرصاص المشع من قبل الستر Elster وجيتل Geitel وهوفمان Hoffman وشتروس Straus (1902) ، والراديو ثوريوم والميزوتوريوم من قبل و . هاهن O. Hahn (1905) والايونيوم من قبل بولنود Boltwood (1907) ، والبروتاكتينيوم (1918) وضع موضع التحقيق بان واحد من قبل و . هاهن ول . مئتر L. Meitner ومن قبل ف . سودي F. Soddy وج . آ . كرانستون J. A. Cranston . وتويعت هذه الاعمال الكيميائية حول العناصر المشعة بصورة رئيسية في مختبرات بيار وماري كوري في فرنسا ، ومختبرات ف . سودي في انكلترا ومختبرات س . ماير S. Meyer في النمسا . وتم ايضاً اكتشاف ذرات ضعيفة الاشعاعية بين عناصر ذات وزن ذري خفيف : البوتاسيوم

(طومسون 1905) والروبيديوم Rubidium (كميل وود Campel et Wood 1906) وبعد ذلك بكثير سنة 1932 بين فون هيفيسي ان الساماريوم هو عنصر مشع ناشط .

بذات الوقت قامت اعمال فيزيائية متعددة . واستطاع پيار وماري كوري ان يثبتا منذ 1899 من النشاط المحثوث في المواد الموضوعة بالقرب من الراديوم . وفي سنة 1900 بين روفزفورد ان الثوريوم يولد « اشعاعات » . واثبت دبيرن كذلك ان الاكتينيوم يولد مخزوناً ناشطاً . ونجح سودي وروفزفورد في تسليط ما ينبثق عن الثوريوم . وفي سنة 1910 أكد و . رامسي و . و . غراي ان هذا الغاز هو عنصر من اسرة الغازات الجاملة ذات الوزن الذري البالغ 222 . واطلق اسم رادون على هذا العنصر مُدْعِرين ان الامر يتعلق بمنتوج من تفكك الراديوم .

ومنذ 1901 اقترح كُلُّ من پيار كوري وماري كوري وهـ . بيكريل وج . برين فرضيات ، من بين جملة فرضيات تفضي الى تفسير النشاط الاشعاعي وكأنه تحول ذري يولد طاقة كامنة موجودة في الذرة المشعة الناشطة . وفي أيار 1903 افترض روفزفورد وسودي ، بعد تجاربها حول المنبثقات ، ان النشاط الاشعاعي يَودُّ الى تفكك ذري (انظر لاحقاً) .

وفي بداية سنة 1903 اثبت كُلُّ من پيار كوري وآ . لابورد Laborde ، تصاعد الحرارة عفويّاً من الراديوم . وكان هذا الاكتشاف شديد الاهمية لانه يبين ان الطاقة المتصاعدة ، وان كانت ضعيفة جداً من حيث قيمتها المطلقة الا انها كانت ضخمة للغاية اذا نسبت الى كتلة الذرة ، وانها لا يمكن ان تنبثق عن هذه الكتلة الا بعد تحول في ذرات الراديوم ذاتها .

وكتب پيار كوري ولابورد في هذا الشأن فقالا : « ان التصاعد المستمر لمثل هذه الكمية من الحرارة لا يمكن ان يُفسَّرَ يتحول كيميائي عادي . وان نحن بحثنا عن منشأ انتاج الحرارة في تحول داخلي ، فان هذا التحول يجب ان يكون ذا طبيعة اعمق ويجب ان يُعزى الى تحول في ذرة الراديوم ذاتها . ان مثل هذا التحول ، اذا كان موجوداً فانه يحصل ببطء متناهٍ ، لان خصائص الراديوم لا يعترها تغير مشهود بخلاف عدة سنوات . واذا كانت بالتالي الفرضية السابقة صحيحة ، فان الطاقة العاملة في تغير الذرات سوف تكون كبيرة بشكل غير عادي » .

واخيراً وفي سنة 1903 ايضاً بين رامسي وسودي ان الراديوم يولد الهيليوم بصورة مستمرة . ولاول مرة امكن الحصول على عنصر كيميائي وهو الهيليوم انطلاقاً من عنصر آخر هو الراديوم ؛ هذا البرهان لعب دوراً حاسماً لصالح نظرية تحولات الاجسام الناشطة اشعاعياً .

وهذه السنة 1903 اعتبرت منعطفاً رئيسياً ؛ فقد قدمت اساماً متيناً لنظرية التحولات الذرية التي اوضحها روفزفورد وسودي ، ووجهت البحوث في طرق جديدة خصبة للغاية .

الاشعاعات . الطرق الاولى لاكتشافها - وسرعة فائقة امكن التوصل الى تقسيم اشعاعات الاجسام المشعة الى ثلاث فئات (α , β , γ) ثم تم التعرف على الصفات الاساسية لهذه الاجسام . وثُبِّعت هذه الاعمال بشكل رئيسي في كُلِّ من فرنسا وانكلترا والمانيا ، ومنذ 1909 بين ي . روفزفورد عن طريق الامتصاص ان الاورانيوم يُرسل على الاقل نوعين من الاشعاعات ذات قدرات خارقة مختلفة جداً . وسُمِّي المركب القليل النفاذ « أشعة α » والمركب الاكثر نفاذاً « أشعة β » ،

وفي سنة 1909 بين كُل من روفرورد ورويدس Royds ان اشعة α هي ذرات هليوم مؤينة مرتين ، وقرر بيار وماري كوري ان الشحنات التي تنقلها اشعة β هي شحنات سلبية . واثبتت القياسات المتتالية ان شحنة شعاع β تساوي الشحنة الاولى وشبهت بالالكترونات . ولاحظ ب . فيلار لاول مرة اشعة قدرتها النفاذة اعلى بكثير من قدرة اشعة β فسمها « اشعة γ » وهذه الاشعاعات التي لا تحرفها الحقول الكهربائية أو المغناطيسية تعتبر ذات قدرة تأيينية ضعيفة ، وهي تعتبر كاشعاعات كهرمغناطيسية .

ان تقدم طرق الالتقاط قد لعبت بالطبع دوراً ضخماً في تطور معارفنا . ومنذ اكتشاف النشاط الاشعاعي عُرِف ان الاشعة المنبعثة تطيع الصفائح الفوتوغرافية ، وتحدث توهيجاً لمواد متنوعة ، وتجعل الغازات موصلة للكهرباء .

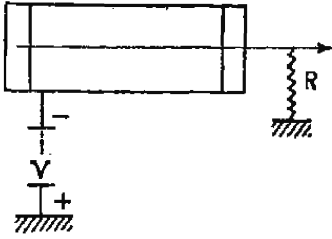
ويشوب الطريقة التي تستعمل الصفيحة الفوتوغرافية التي اتاحت اكتشاف النشاط الاشعاعي عيب انها لم تقدم اشارة دقيقة بشكل كافٍ حول زخم الظواهرات الاشعاعية . ومع ذلك فقد استعملت للحصول على صورة مسار الرزم ، خاصة عند دراسة تأثير الحقول المغناطيسية . واستعمل بيار وماري كوري عاجلاً وسريعاً ظاهرة التأيين التي تساعد على القياسات الكمية والتي اتاحت لهما القيام بالارصاد التي أدت إلى اكتشاف العناصر المشعة .

وسرعان ما عُرِف الجدوى الحاصلة من جراء ترقيم الاشعة ، اي اكتشاف كُل جزئية بمفردها . وبين كُل من كروكس Crookes والستر Elster وجيتل Geitel ، سنة 1903 ان اشعة α عندما تصل الى شاشة فلوريسانية مثل البلاطينو سيانور من الباريوم ، أو من سلفور الزنك ، فانها اي الاشعة تحدث في نقطة الالتقاء بريقاً قصير الامد جداً . وهذا الاسلوب في الترقيم شاع استعماله واتاح اكتشافات ثمرة .

وابتداءً من سنة 1911 استطاع الفيزيائيون بفضل ش . ت . ولسن Wilson الوصول الى وسيلة مدهشة في الملاحظة والرصد : هي الغرفة الاسترخائية والتي تسمى عادة غرفة ولسون . ويتيح هذا الجهاز رؤية المسارات الفردية للجزئيات المؤينة : من اشعة α أو β .

وتقوم الطريقة على استحداث تركيز حبيبات من الماء فوق الايونات المحدث على طول المسار ، وبالتالي جعل مقطع الاشعة مرئياً . ويتم الحصول على هذه النتيجة باحداث ارتخاء مفاجيء في غرفة تحتوي على غاز مشبع ببخار الماء . واثناء هذه العملية ، تنخفض درجة الحرارة في الوسط المحيط ، ولوحظ انه ضمن بعض الشروط ، لا يوجد تكثيف لبخار الماء بل اشباع عال جداً . ومع ذلك واذا وجدت ايونات فان التكثيف يحدث فوق هذه المراكز المحشونة : وهكذا يحدث مرور جزئية في الغرفة قبيل الارتخاء تماماً ، وعلى طول المسار ، سلسلة من الايونات تتجمد أو تتجسد بتشكيل حبيبات رقيقة من الماء . وان هي اضيئت بقوة ، فان هذه الحبيبات تنشر الضوء مما يتيح تصويرها .

في سنة 1931 انجز روفرورد وجيجر Geiger جهازاً للترقيم الكهربائي يُرقم الجسيمات الفردية . واستكمل سنة 1928 ، خاصة على يد مولر Muller ، وما يزال يستعمل حتى اليوم تحت اسم عدّاد جيجر - مولر .



إذا اجتازت جزيئية مؤينة وسطاً غازياً حيث يسود حقل كهربائي قوي فإن الايونات الموجودة بفعل مرور الجزيئية وهي تتحرك بسرعة، تستطيع بدورها استحداث تأيين الغاز وتفاعلية تراكمية جارفة تتيح الحصول على رفع التوتر رفعاً من شأنه ان يصبح سهل المراقبة .

صورة 8 - رسم لعداد جيجر - مولر .

ومثل هذا الجهاز رئيس في الصورة 8 المجاورة . هناك اسطوانة قطرها عدة سنتيمترات يقطعها من الداخل خيط وفيها يوجد حقل مغناطيسي قوي من جراء فرق الكمون V . وكل هذه الطرق قد استكملت فيما بعد استكمالاً ضخماً وولدت دائماً تقدماً مهماً .

تطور المواد المشعة . العائلات - لاحظ وليم كروكس التغيرات في النشاط المشع ، في عينات الاورانيوم العادي والاورانيوم X الذي استطاع هو فصله . وفي سنة 1902 لاحظ آ . روبر فوردي . سوري ملاحظات مماثلة ونجحاً في رسم منحني التفكك في بعض المواد المشعة واستطاعا توضيح مفاهيم الثابتة المشعة ذات الحياة الوسطى . ان نظرية التحولات المشعة النشطة التي قدماها (المجلة الفلسفية ، ايار 1903) ، قد أتاحت التنسيق بشكل متماسك بين المعارف حول الاشعاعات وحول المواد المشعة الجديدة ذات الحياة القصيرة .

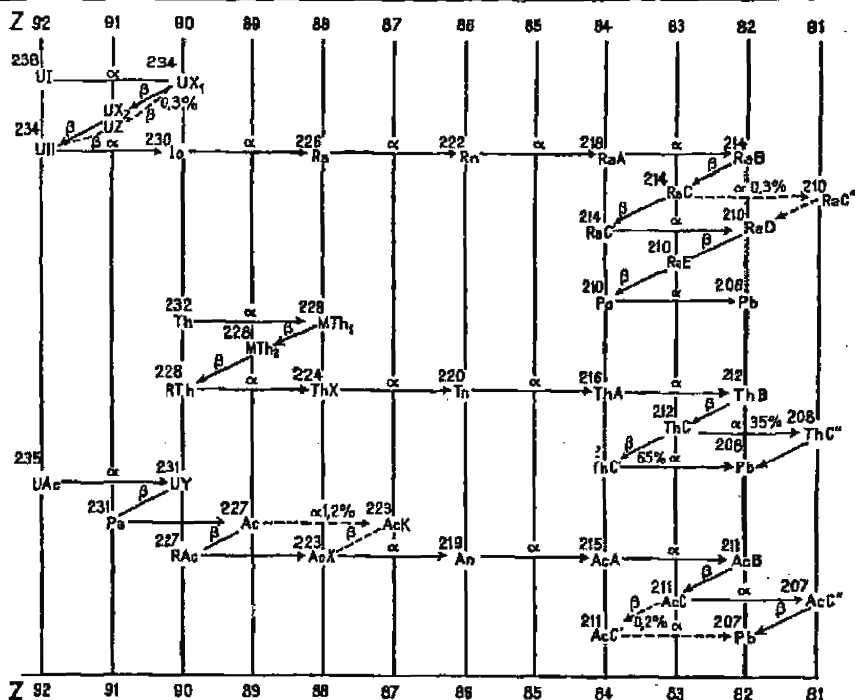
تفترض هذه النظرية ان النشاط الاشعاعي هو خصوصية ذرية وانه يترجم تحوّل ذرات النوع المدروس الى ذرات جديدة من نوع مختلف . وتتلقّى الذرة الناشطة اشعاعياً في فترة من الفترات تحولاً مقروناً بتضاعد تشعيع ، تحولاً لا يتعلق بالشروط الفيزيائية أو الكيميائية القابلة للتحقق على الارض .

واسس نظرية تطور المواد المشعة ترجم بالتالي بقانون أسي هو التالي :

$N = N_0 e^{-\lambda t}$ وفيه N تمثل عدد الذرات التي ، في اللحظة t لم تتلق التطور و N_0 يمثل عدد الذرات الموجودة في اللحظة $t = 0$ اما λ فتمثل خصوصية تعبر عن سرعة التطور . ويمكن ان نمثل ايضاً هذا القانون بالشكل التفاضلي التالي $dN = -\lambda N dt$ باعتبار ان عدد الذرات dN التي تتحول خلال الزمن dt يتناسب مع العدد N الممثل للذرات الموجودة .

وقد امكن منذ ذلك الحين تبيان ان العناصر المشعة لها فيما بينها علاقات وراثية توليدية وانها تشتق اما من الاورانيوم أو من الثوريوم . وهكذا امكن تشكيل ما يسمى « بالعائلات المشعة النشطة » التي تختصر بأية تفاعلية يمكن لمادة ما أن تتحول بها إلى مادة أخرى : اما عن طريق النشاط المشع α أو عن طريق النشاط المشع β . وهذه العلاقات أتاحت استباق معرفة وجود بعض العناصر التي لما نكتشف في حينه مثل البونيوم والبروتاكينيوم .

الاثار البيولوجية للاشعاعات - لاحظ بيار كوري وبيكريل ، بعد وكهوف Walkhoff وجيتل



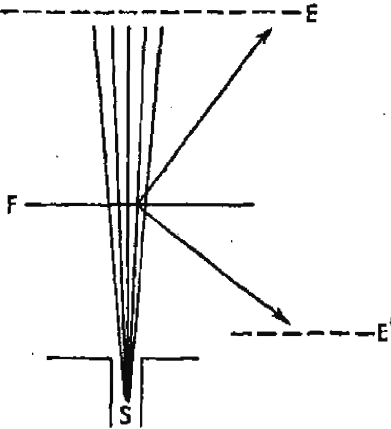
صورة 9 - مخطط للعائلات المشعة الناشطة الطبيعية .

Geitel ان الاشعاع الحادث بفعل كره تحتوي على الراديوم يتسبب بحروقات .

ثم عرض بيار كوري بارادته ذراعه لتأثير ملح الراديوم . ومنذ 1904 قام الطبيب الفرنسي دانلوس بالمحاولات الاولى للاستخدامات الطبية للراديوم لمعالجة سرطان الجلد . واهمية التطبيقات العملية استمرت تتزايد منذ ذلك الحين . وقد اطلقت تسمية الاستطباب الكوري ، على استخدام الأشعة طياً إما بشكل مصدر خارجي أو بشكل مصدر داخلي . وقد جربت تجارب متنوعة منذ ذلك الحين لتفحص تأثير النشاط الإشعاعي على نمو النباتات . وقد بينت هذه الآثار وبسرعة ضرورة اتخاذ عدد من الاحتياطات عند استخدام المصادر المشعة وذلك تجنباً للمخاطر التي يمكن ان يحدثها تسليط المواد المشعة ، وكذلك مفعول الإشعاعات المخرقة الآتية من الخارج .

اكتشاف النواة . النظائر المشعة - بعد مضي خمس أو ست سنوات خصبة جداً على اكتشاف النشاط المشع كان لا بد من انتظار سنة 1911 والسنوات التي تلتها حتى تظهر النتائج المتقدمة الجديده والأساسية ، وبصورة خاصة اكتشاف النواة والتقلات وذلك على يد رونرفورد . وحوالي سنة 1911 كان من المعروف ان الالكترونات تدخل في تكوين الذرات ، وبين باركلا Barkla ان كل ذرة تحتوي على $A/2$ من الالكترونات تقريباً . وتخيل ج . ج تومسون نموذجاً للذرة اعتمد تقريباً بشكل عام ، وبموجبه تتوزع الالكترونات داخل كره مشحونة ايجابياً . وللتثبت من

هذه الفرضية خطرت لروذرفورد فكرة استعمال الاشعاعات الصادرة عن الأجسام المشعة وخاصة أشعة α . في مثل هذا النموذج يعتبر الانحراف المقبول بالنسبة إلى جزيئة α الذي يجتاز الذرة هو في أقصاه من درجة إلى درجتين . ولكن التجربة بينت أن بعض الانحرافات التي تزيد عن 90 درجة موجودة بصورة خاصة في النواة الثقيلة . والصورة 10 تمثل الجهاز التجريبي . عند الحرف S نضع مصدراً مشعاً لأشعة α . و F تمثل ورقة معدنية سماكتها بعض ميكرونات و E و E' هما شاشتان عند SZ يمكن من خلالهما رصد وقع الجسيمات α من خلال البريق واللمعان .



صورة 10 - التثبيت من وجود نواة
ذرية (أ . روذرفورد ، 1911) .

هذه الانحرافات الكبرى التي لوحظ وجودها لأول مرة من قبل روذرفورد وتلميذه جيجر ومارسدن Marsden قد فسرها روذرفورد نظرياً حين افترض أن كلاً منها مصدرة صدمة وحيدة من جزيئة α تصدم هذه الذرات . ولتوضيح هذه الظاهرة كان لا بد من افتراض وجود نواة مركزية تعادل كتلتها كتلة الذرة ، وافترض وجود شحنة مماثلة في قيمتها المطلقة إلى مجموع الشحنات التي تحملها الإلكترونات . وكانت هذه التجارب في غاية الأثارة حيث تجلت فيها عبقرية روذرفورد بشكل واضح . وعدد الانحرافات الكبرى التي تسمى صدمات استثنائية لا يبلغ في المراقع سوى بعض الوحدات بالنسبة لمئة ألف جزيئة α .

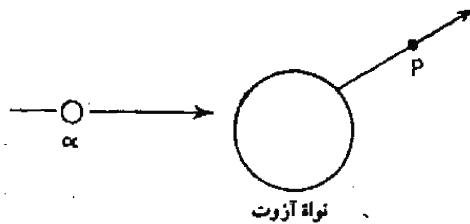
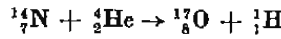
وأُتاحت تجارب روذرفورد أيضاً الحصول على ترتيب الضخامة في أحجام النواة كما قدمت أولى مظاهر تأثيرها القوى النووية .

وبالنسبة إلى النوى الثقيلة فإن قانون كولومب يكفي لتفسير الصدمات غير العادية ، أما بالنسبة إلى النوى الخفيفة ، وبالنسبة إلى زوايا الانتشار الكبيرة بما فيه الكفاية ، فإن عند الأشعة α المبعثرة لا يتوافق مع تنبؤات قانون روذرفورد (الصدمات غير العادية) . وهكذا بالنسبة إلى النوى الخفيفة ، تستطيع الجزيئة α أن تقترب اقتراباً كافياً من النواة حتى لا يحدث نمط جديد من القوة : القوى النووية (أن المسافات المنظورة هنا هي من عيار 10^{-13} من السنتيمتر) .

وهذه الوقائع هي في أساس النموذج الكوكبي للذرة نيلس بوهر (1913) .

وفي نفس السنة (1913) تقريباً اكتشف ج . ج . تومسون النظائر المستقرة . فعندما درس الكتلة الصحيحة للذرات النيون لاحظ وجود نوعين من الذرات من كتلة 20 و 22 ، فاصدر عندها الفرضية بان النيون يحتوي على غازين لهما خصائص كيميائية شبه متماثلة سماهما ف . سودي ايزوتوب أو نظائر مشعة . وتمت العودة إلى هذه الأعمال سنة 1919 من قبل ف . و . استون Aston الذي قرر وجود عدة نظائر مستقرة في عدد كبير من العناصر . واكمل اكتشاف النظائر المستقرة بشكل منسجم دراسة العناصر المشعة . وهذه الدراسة أدت وفقاً لفرضية سودي حول التحولات المشعة الناشطة ، إلى افتراض وجود ذرات متوافقة مع القيمة Z انما ذات كتلة وذات خصائص مشعة مختلفة ويمكنها ان تحتل نفس المربع في جدول مندليف .

التنقلات (1919) - تتوافق التنقلات مع الواقع القائل بان النواة يمكن ان تتحول عندما تخضع لقذف بالجزئيات التي من شأنها ان تدخل في نطاق المجال النووي . ويعود الفضل في هذا الاكتشاف المهم إلى آ . رودرפורد الذي استطاع ، في مختبر كافنديش في كمبرج ان يلاحظ ان قذف الازوت باشعة α يظهر بروز بعض ايونات الهيدروجين أو البروتونات (صورة 11) . وتخيّل ان هذه البروتونات تصدر عن النواة عندما يكون الجسم قادراً على التفاعل مع هذه النواة . وبسرعة أمكن توضيح خصائص هذه الانتقالات : ولوحظ أنّ الطاقة الحرارية في البروتونات المبعثرة يمكن ان تكون أعلى من الطاقة الحركية الموجودة في الجسم α النازل وبالتالي فان الطاقة الداخلية في النواة تتدخل في عملية الانتقال . وفي سنة 1923 لاحظ ب . م . م . بلاكت Blackett ، وه يصور في غرفة ولسون ما يقارب من 400 ألف مسار ، وجود ثمانين حالات تحويلية . واستنتج من دراسة هذه المسارات ان الجزئية α تأسرها النواة عند حدوث عملية الانتقال : وهذا التفاعل يكتب كما يلي :



صورة 11 - انتاج بروتون بقذف نواة الازوت بالأشعة α .

وكانت المرة الأولى التي يجري فيها الإنسان تحويل نوع من الذرات (الازوت) إلى نوع آخر (أوكسجين) ، محققاً بالتالي حلم الخيميائيين . واليوم أصبحت التحولات (التفاعلات النووية) تحقق بواسطة قذائف متعددة الأنواع .

وفي الحال تم الافتراض بان مبادئ حفظ الطاقة ومبادئ كمية الحركة يجب توفر شروطها

اثناء التحولات ، وبشكل خاص ان تتوافق الطاقة الداخلية مع تغير كتلة النظام . من ذلك انه في التفاعل المذكور اعلاه نكتب : $M_p + M_x = M_0 + M_p + Q/c^2$ وفي هذه المعادلة تمثل Q الطاقة العاملة في التفاعل و c^2 تمثل مربع سرعة الضوء ، اما Q/c^2 فهي تتناسب مع كتلة ما (وفقاً لمعادلة انشتين $E = mc^2$) .

الاشعاعات النشطة β و α - ابتداءً من سنة 1920 وحتى حوالي سنة 1930 قامت أعمال عدة بقصد توضيح المعارف المكتسبة حول العناصر المشعة وحول شروط بث الاشعاعات وخصائص هذه الاشعاعات .

وحوالي سنة 1907 لاحظ كل من هـ . و . شميدت ، و . هاهن ول . ميتنر Meitner بأن الأشعة β تمتص وفقاً لقانون أسّي ، بعكس أشعة α ذات المسار المحدد في المادة . وفيما بعد أثبتت تجارب الانحراف المغناطيسي التي قام بها و . ولسون وج . آ . غراي ، وج . شادويك ، ولأول مرة ، ان أشعة β تشكل طيفاً دائماً من الطاقة وتعطي بالتالي تفسيراً لقانونها الامتصاصي . الا ان خطوطاً ظهرت متراكمة فوق الطيف المستمر ؛ وانه في حوالي سنة 1922 فقط تم فهم انها خطوط انقلاب داخلي مرتبطة ببث الفوتونات : فالانقلاب الداخلي هو ظاهرة بموجبها تستغل الطاقة المحررة من النواة إلى الكترون من الموكب الالكتروني .

ومنشأ الصفة المستديمة لأشعة β بقي سراً لمدة طويلة . وفي سنة 1925 قدم كل من ش . د . آليس و ووستر Wooster ثم في سنة 1930 قدم كل من ل . ميتنر واورتمان Orthmann مشاركة مهمة حين كشفوا ان الطاقة المتوسطة لأشعة β هي من عيار ثلث الطاقة القصوى ؛ ولكن في سنة 1933 فقط استطاع آليس ون . ف . موت Mott ان يبين ان الطاقة القصوى هي الطاقة المحررة اثناء التحول عن طريق النشاط الاشعاعي β ، ميبين بشكل نهائي الصعوبة الأساسية وبموجبها يبدو قسم مهم من الطاقة المحررة زائلاً اثناء النشاط الاشعاعي β . وحفاظاً على مبدأ حفظ الطاقة اقترح بولي منذ سنة 1931 وجود جزئية افتراضية ، هي الترينو ، كتلتها وشحنتها معدومتان وان هذا الترينو ، المنبثق بذات الوقت مع الكترون التفتك هو الذي يحمل الطاقة المفقدة .

وحتى سنة 1929 ماد الظن بان كل عنصر اشعاعي مرسل α يتميز بمجموعة واحدة فقط من أشعة α ذات الطاقة (أي ذات المسار) المحددة تماماً . وبطبيق طريقة التحليل الطيفي التسجيلي نصف الدائري ، اكتشف س . روزنبلوم Rosenblum في سنة 1929 البنية الدقيقة ميبين ان أشعة α للمعيار The تتألف من مختلف مجموعات طاقة قريبة جداً . وأظهر العديد من الاعمال يومئذٍ عمومية الظاهرة . وحتى سنة 1928 كان بث أشعة α من قبل النوى يعتبر أيضاً أمراً غير مفهوم . وبهذا الشأن ، ثبت ان أشعة α التي يبثها الاورانيوم تمتلك طاقة من عيار 4 MeV في حين ان أشعة α من عيار 8 MeV تنحرف بفعل النوى وفقاً لقانون كولومب ، أي انها لا تخترق المجال النووي . وتفسير هذه الاحجية اعطي بأن واحد من قبل غامو ومن قبل غورني وكوندون الذين طبقوا الميكانيك التبدلي على مسألة البث α وبيّنوا وجود احتمال ضعيف في ان تخترق الجسيمة α حاجز قوة النواة (1928) .

وهكذا وفي حوالي سنة 1930 ادت الاعمال التي جرت حول النشاط الاشعاعي ، بشكل رئيسي في كل من فرنسا وانكلترا والمانيا والنمسا ، إلى معرفة أشبه كاملة لعائلات العناصر المشعة الطبيعية وإلى معرفة الخصائص الرئيسية لهذه العناصر المشعة ولاشعاعاتها ، معرفة بدت يومئذ مرضية . وظن البعض ان علم النشاط الاشعاعي قد وصل بشأنها إلى مرتبة يقتضي فيها فقط القيام باعمال دقة . ولكن ظهر بحث جديد للنشاط الاشعاعي وللفيزياء النووية .

II - النشاط الاشعاعي والفيزياء النووية من سنة 1930 إلى 1940

اكتشاف التترو (النيوترون) - منذ تحقيق آ . روفرورد في سنة 1919 لأول نقلة مستحثة ، قام العديد من الباحثين يكرسون أنفسهم لدراسة هذا الفرع الجديد من العلم واستطاعوا ان يبنوا انتقال عدد كبير من العناصر الخفيفة بعد قذفها بأشعة α من مادة البولونيوم .

وكان زخم المصادر المستعملة الضعيف ونُدرة الظاهرة لم يساعد على معرفة ماهية العناصر المتكونة ، وحده الدرس المقذوفي يمكن ان يبين بالمثل انه يشكل في الألومينيوم المقذوف بأشعة البولونيوم α سيلسيوم في حين يتقذف ويستبعد بروتون بطاقة كبيرة .

في سنة 1928 أثبت غورني Gurney وكوندون Condon وغامو Gamow ان امكانية الحصول على تحول بواسطة جزئية مشحونة ايجاباً تتعلق بشدة بقوى دافعة كهربائية بين هذه الجزئية والنواة الهدف . وعاد كوكروفت Cockroft إلى مسألة انتاج البروتونات ذات السرعة الكافية .

وعلى كل ان احد أولى الاكتشافات في الدراسة التجريبية للتحويلات قد جرت بفضل استعمال التشعيع الموجود في العناصر المشعة الطبيعية .

في سنة 1930 أثبت و . بوث Bothe و هـ . بيكر H. Becker ان عدداً ما من النوى الخفيفة ، مثل البريليوم والليثيوم ، والبور (bore) بصورة رئيسية ، ترسل تشعيعاً شديداً النفاذ عندما تقذف بأشعة α الموجودة في البولونيوم . هذا التشعيع قادر على اجتياز سماكات مهمة من المادة ، عدة مستمرات من الرصاص مثلاً ، دون تخفيف ملحوظ . وباستعمال حسابات كلين Klein ونيشينا Nishina اقترح بوث وبيكر تفسير هذا الاختراق ، بواسطة الطبيعة الكهرومغناطيسية لهذا التشعيع ، وبواسطة طاقة مرتفعة (14 MeV في حالة البريليوم) تفوق بكثير اشعاعات (غاما) المعروفة والمعدشة في تلك الحفبة .

وقد اثار « تشعيع البريليوم » المنسوب إلى بوث وبيكر ، العديد من الاعمال التجريبية ، ولكن بعد سنتين توصلت ايرين كوري Irène Curie وفردريك جولوت F. Joliot إلى اكتشاف خصوصية أكثر ادهاشاً في هذا التشعيع . فبفضل الكميات المهمة من العناصر المشعة الطبيعية المتاحة في مؤسسة الرادينيوم في باريس ، استطاعا تحضير مصادر قوية من البولونيوم ، ودراسة تشعيع بوث وبيكر في ظروف ملائمة جداً . وباستعمال غرفة تأيين ذات حاجز من الومينيوم رقيق كلاقط كاشف ، استطاعا ملاحظة وجود تزايد كبير ومهم في تيار التأيين ، وذلك بعد وضع ورقة رقيقة من مادة هيدروجينية (سلوفان) بين المصدر والكاشف .

هذا المفعول عُزي ، كما دلت علي ذلك تجارب الامتصاص ، الى تشعيع ثانوي تبثه المادة الهيدروجينية وتمتصه باكملة غشاوة رقيقة جداً من الالومنيوم . ان خصائص هذا التشعيع الثانوي تشبه تماماً خاصة « أشعة H » (البروتونات) الامر الذي ثبت بعد رصد بروتونات التراجع في غرفة ويلسون .

ان طاقة بروتونات التراجع التي لحظتها ايرين كوري وف . جوليت لم تكن تتناقض تناقضاً أساسياً مع فرضية طبيعة كهرمغناطيسية لاشعاع بوث Bothe وبيكر Becker ، ولكنها تؤدي الى افتراض وجود طاقة من عيار 50 MeV . ان هذه الطاقة العالية جداً ، لم تكن ، على كل ، تتناقض مع بعض التفاصيل التجريبية ومع ما كان معروفاً في السابق عن مظاهر الطاقة المرتبطة بالتحولات .

وتمت العودة إلى هذه التجارب من قبل ج . شادويك J. Chadwick ، وفيلر Feather ودي Dee في كمبريدج ، ومن قبل ب . أوجيه P. Auger وم . بروغلي ، وديري - لاتور Dupré Latour ولورنس - رنغيه Leprince - Ringuet وج . تيبو J. Thibaud في باريس ومن قبل رازيتي Rasetti في برلين . وأثبتت هذه التجارب الجديدة النتائج التي توصل إليها كل من ايرين كوري وف . جوليت ، وقدمت تناقضات جديدة بين الخصائص التجريبية للتشعيع التي قال بها بوث وبيكر وبين فرضية طبيعتها الكهرمغناطيسية .

وإذا بقيت الطبيعة الصحيحة لهذا التشعيع قيد الاكتشاف . ومنذ 1920 ، تنبأ لورد رذفورد بوجود جزئية حيادية ذات كتلة قريبة من البروتون سماها نيوترون neutron (نترون) . هذه الفرضية ، التي استعبدت فيما بعد ، من قبل فيزيائيين آخرين ، لم تكن ترتكز في سنة 1932 على أي أساس تجريبي أو نظري . في مختبر كافنديش ، حيث نشأت هذه الفرضية ، أنجز يومئذ صنع كاشف لاقط جديد : غرفة التأين ذات النبض (التذبذب السريع) .

حتى ذلك الحين ، كانت اللاقطات المستعملة تتألف بصورة أساسية من غرفة تأين ، غرفة ولسون ومن العداد ذي اللمع البصري . وساعد تطور التقنيات الالكترونية على استعمال لاقطين جديدين : غرفة التأين ذات التفريغ ، أو عداد جيجر - مولر ، وغرفة التأين التناسبية أو ذات الدبذبات .

ويعطي هذان اللاقطان الكاشفان ذبذبة كهربائية اثناء مرور جزئية مؤينة ضمن الحجم المفيد من العداد . بالنسبة إلى الكاشف الأول ، يكفي زوج واحد من الايونات لاطلاق التفريغ ، وضخامة الدبذبة الكهربائية المقدمة كانت ثابتة ، مهما كانت الطاقة المهدورة من قبل الجزئية المؤينة . وبالنسبة إلى الكاشف الثاني ، بالمقابل ، تكون ضخامة الدبذبة متناسبة مع الطاقة المهدورة من قبل الجزئية المؤينة داخل الغاز الموجود في الغرفة . ويتيح قياس الكمية الكهربائية الدلالية ، استبدال التحليل الطويل والدقيق للكليشهات المتوفرة بواسطة غرفة ويلسون .

وبواسطة هذا الكاشف ، استطاع جامس شادويك ان يبرهن على ان نوى التراجع المحدثة بفعل تأثير اشعاع بوث ويكر على مختلف العناصر تنأى من صدمة مطاطية مع جزئية حيادية ذات كتلة تقارب كتلة البروتون .

والفاعل المنعلق بالبريليوم يمكن ان يصور على الشكل التالي : ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$: والرمز الأخير يدل على النيوترون (أو الترون) .

وأتاح اكتشاف النيوترون تجريبياً من قبل شادويك ادخال مركب جديد للنوى الذرية ويسألني استبعاد المصاعب الرئيسية من النماذج النووية السابقة . ويمكن لنواة ذات شحنة Z وذات وزن ذري A ان تبني من Z بروتون ومن A - Z نيوترون . ان النموذج للذرة الحيادية المتكونة بفعل النواة واطارها من Z الكترون لا يقتضي وجوداً مُستصعباً للالكترونات داخل النواة . واكتشاف النيوترون أعطى الأسس المتينة للنماذج النووية المستقبلية .

الالكترونون الإيجابي - ضمن الكليشيات الولسنية [نسبة إلى ولسون] التي حصلت عليها ايرين كوري وف . جوليوت عند دراسة نوى التراجع ، يمكن ان نلاحظ عدة مسارات الكترونية ذات طاقة كبيرة ، يبدو بعضها منحنيّاً باتجاه معاكس بفعل التيار المغناطيسي ، آتياً من منطقة بعيدة عن المنبع ومتجهاً إليه . وبعد شرح هذه المسارات بفعل أثر ثانوي تحدثه النيوترونات في جوانب الغرفة ، فانا نصطدم بعدد من التناقضات . ان الطاقة القصوى للالكترونات ، بشكل خاص ، لا يمكنها ان تفسر بصدام بين النيوترون والالكترون . وظن أ . كوري وف . جوليوت ان المسارات المراقبة ، تأتي بأن واحد من بيت ٧ صادر عن المنبع Po - Be وعن بيت ٧ معزول إلى اشعاع ثانوي محفوز بالنيوترونات في جوانب الغرفة .

وأثبتت الفرضية الأولى فيما بعد ، ولكن منطلق المسارات المنحنية باتجاه معاكس قد عثر عليه في مجال الاشعاع الكوني . وأشار ش . د . اندرسون ، وهو يدرس كالعديد من الفيزيائيين الآخرين الاشعاع الكوني بواسطة غرفة ولسون ، إلى وجود جزئيات فيها مشحونة شحناً إيجابياً . وفسر في بادئ الأمر هذه الآثار بوجود بروتونات ذات طاقة كبيرة ، ولكنه تأكد فيما بعد ان قسماً من هذه المسارات الايجابية يُعزى إلى جزئيات ذات كتلة أصغر بكثير من البروتون فسمّاها « بوزيترون » .

وكان عدد المسارات الحاصلة على يد اندرسون ضئيلاً ، اذ ، وفقاً لطرق الارتخاء الدوري ، كان 1% فقط من الكليشيات يحمل اثر مرور جزئية مؤينة . وحصل بلاكت واوشاليني Occhialini ، عند اطلاقهما لارتخاء غرفتهما بفعل عدادين جيغر - مولر متطابقين ، على أكثر من 80% من الكليشيات المستعملة واستطاعا ان يبينا ان الجزئيات الايجابية التي قال بها اندرسون هي ذات كتلة معادلة إلى أقصى حد لكتلة الالكترون .

واذاً فهناك وجود لالكترونات ايجابية سبق ان تنبأت بها نظرية ديراك ، منذ سنة 1930 ، كما اتضح وجود مسارات لالكترونات منحنية باتجاه معاكس في كليشيات ولسون ، الحاصلة اثناء

دراسات الشعاع بوث ويكر ، بنور جديد . وأكدت التجارب التي عاد إليها كل من ل . ميتير وفيليب ، شادويك ، بلاكت واوشيايني ، على وجود مسارات لأحفظها | . كوري وف . جوليوت ، وبينت ان الكترونات ايجابية يمكن خلقها ضمن شاشات رصاصية توضع داخل الغرفة .

وبعد درس زخم الالكترونات الايجابية تبعاً للرقم الذري للشاشة ، بين ا . كوري وف . جوليوت فيما بعد ان القسم الاعظم من الالكترونات الايجابية يعزى إلى فصل التشعيع α الصادر عن المتع $Po - Be$ فوق الشاشة الرصاصية . ولاحظ أندرسون ، ميتير وفيليب ، ا . كوري وف . جوليوت بأن واحد α التشعيع الناشط الصادر عن بعض العناصر المشعة الطبيعية ، يعطي نفس الظاهرة .

وبينت هذه الاعمال ان فوتوناً ذا طاقة كبيرة ، حين يلتقي نواة ، يتحول إلى الكترونين بإشارتين مختلفتين . ان هذه « المادة » ، بحسب التعبير الذي اقترحه ماري كوري تتطلب انفاق طاقة تعادل الكتلة الساكنة في الكترونين ، والطاقة الاضافية المحتملة للفوتون توجد من جديد في الطاقة الحركية الموجودة في الالكترونين . وهكذا تفسر ظاهرة الامتصاص الاضافي لأشعة α الملحوظة فوق (1,1 Me V) من قبل جنتر Gentner .

وبوجه مقابل ، قضت نظرية ديراك ان الكتروناً ايجابياً يجب ان تكون حياته قصيرة في المادة ثم يتلاشى عند الاتصال بالكترون سلمي ، ويقترن تحطيم الكترونين بصورة رئيسية بالث المتعاقب ، وباتجاه معاكس ، لفوتونين من عيار 511 Ke V . هذه الظاهرة الأخيرة أثبتت بأن واحد ، ف . جوليوت وج . تيبوه ، وذلك بامتصاص رزمة من الالكترونات الايجابية في المادة وبعد درس الاشعاع α الصادر بواسطة عداد جيغر - مولر (1933) .

النشاط الاشعاعي المصطنع - في بعض الحالات ، قد تحدث ظاهرة تجسيد الفوتون ضمن حقل النواة الصادرة . وهذا « التجسيد الداخلي » قد لوحظ من قبل ا . كوري وف . جوليوت أثناء دراسة بث الالكترونات الايجابية من قبل البيريليوم المقذوف بالجزئيات α الموجودة في البولونيوم . ان نظرية هذه الظاهرة المحققة ، بعد ذلك بقليل ، من اوبنهايمر Oppenheimer ونيدلسكي Nedelsky ، تنسجم مع عدد الزوجين $e^+ - e^-$ الملحوظين بصورة تجريبية . وبالمقابل ، ان بث الالكترونات الايجابية من قبل الفلور ، والالومنيوم ، والصوديوم والبر ، وكلها مشعة (irradiés) ، لا يمكن تفسيره من خلال هذه الظاهرة ، وهذه الالكترونات سميت « الكترونات ايجابية تحويلية » من قبل ا . كوري وف . جوليوت . ان تحويل هذه العناصر تحت تأثير الجزئيات α يقترن عموماً ببث بروتون ذي طاقة كبيرة ، وفي بعض الأحيان يتصاعد ترون والكترون ايجابي . ان هذين التفاعلين المختلفين ينتهيان إلى نفس العنصر الثابت .

ان دراسة الحصيلة الطاقوية في هذين التفاعلين أتاحت لـ ا . كوري ف . جوليوت ان يعطيا تحديداً جديداً لكتلة الترون وان بينا انه ، بخلاف ما هو معتقد ، هذه الكتلة تزيد عن كتلة

البروتون . وقد تأكدت هذه النتيجة ، بعد ذلك بقليل ، من قبل شديوك وجولدهابر Goldhaber في دراسة التفكك الضوئي Photodésintégration للدوتون . نواة النظير الثقيل للهيدروجين المكتشف سنة 1932 من قبل أوري ، وبركويدل ومورفي (Urey, Brickweddl, Murphy) .

وفي الأيام الأولى من سنة 1934 ، أدت دراسة « الكترونات التحول » بليرين كوري وف جوليت إلى اكتشاف مهم في الشروط التالية التي نقلها ف . جوليت :

« بعد إظهار أن تحولات مثل تحولات ^{10}Be ، و F ، Na ، Al ، بفضل أشعة α الصادرة عن البولونيوم ، تولد بثاً للترنات والبوزيتون ، أخذنا نبحت بالدرجة الأولى عما إذا كان بث الترنز وبث البوزيتون يحدثان في نفس العتبة من طاقة أشعة α النازلة ، وبالدرجة الثانية ، وإذا كان الأمر كذلك ، إذا كان بث الترنز وبث الالكترون الايجابي قد حصلاً بأن واحد » .

« في الماضي بين احصاء طاقات البوزيتون الصادر ، المستخلص من احصاء أشعة انحناء مسارات ضباب هذه الجزئيات اتنا تجاه طيف يشبه طيفاً مستمراً ل β الصادرة عن عنصر مشع طبيعي . ومع ذلك ، فافتنا ، في البداية لم نأبه لهذه المماثلة . ونفذنا برنامج البحوث المعروض في مطلع هذا المقطع . في المقام الأول أخذنا الترنات والبوزيتونات تبث بفعل ذات الطاقة من أشعة α (نفس العتبة) ، ولكن ، وهنا يكمن الحدث الأساسي في الاكتشاف ، لاحظنا بعد بث مع أشعة α ذات طاقة فوق عتبة بث الترنات والبوزيتونات ، إذا أرجعنا طاقة أشعة α الى تحت العتبة أو حتى إلى الصفر ، أن بث الترنات يتوقف في الحال ، في حين يستمر بث البوزيتونات في الحدوث » .

وتأتى « الكترونات التحويل » إذاً عن نمط جديد من النشاط الاشعاعي . وتورد المذكره الموجودة في « تقارير اكااديمية العلوم » في 15 كانون الثاني سنة 1934 ، بأن واحد اكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي وابتكار أسلوب جديد من تفكيك أشعة β بواسطة بث الكترونات ايجابية . وبعد ذلك بأيام ، ذكرت مذكرة جديدة أول برهان كيميائي على التحولات عن طريق التحليل الكيميائي للعناصر المشعة المستحدثة .

وهكذا تم تفسير عملية بث الالكترونات الايجابية من قبل الالومينيوم المشع : ان التفاعلات النووية $^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n}$ تعطي نظيراً فوسفورياً كتلته 30 ناشطاً شعاعياً β^+ ذا وقت يقارب ثلاث دقائق ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}\text{e}$ والسيليسيوم ذو الكتلة 30 هو نظير مستقر . وهكذا يمكن ان نفسر النشاط الاشعاعي β^- عن طريق تحويل نترون الى بروتون داخل نواة والنشاط الاشعاعي الجديد β^+ بالتفاعلية المعاكسة .

وسرعان ما تمت العودة إلى هذه التجارب في عدة بلدان . وأكد اليس واندرسون وميتسر ، وفريش Frisch وآخرون غيرهم . النتائج التي حصل عليها ا . كوري وف . جوليت . وقد اقترح هذان الاخيران ان عناصر أخرى ناشطة اشعاعياً يمكن العثور عليها وذلك بتشعيع العناصر المعروفة بواسطة قذائف متنوعة مثل : جزيئات α ، وبرتونات ، ودوتونات وترونات . ولوحظ عندئذ ان سرعات الجزئيات التي حققها كوكروفت ووالتون في انكلترا ، وا . لورنس Lawrence في

الولايات المتحدة قد انتجت كميات مهمة من العناصر المشعة الاصطناعية . وتطور البحوث في هذا المجال وكذلك تحسين سرعات الجزيئات قد خلقا علماً جديداً : الكيمياء النووية . وتمت التجارب الأولى بواسطة كل الوسائل المتاحة : مصادر مشعة ناشطة طبيعية ومسرعات للجزيئات ، وأخذت لائحة العناصر المشعة الجديدة تزايد يوماً بعد يوم .

وتاريخ هذا العلم الجديد قد طبع ، منذ بدايته ، بالأعمال التي قام بها مختبر انريكو فرمي في روما . وكان فرمي يمتلك جملة من الراديوم وجهازاً لاستخراج الرادون مما أتاح له ان يحقق مصدراً للترنونات عن طريق قذف α البريليوم بشكل مسحوق موضوع داخل انبوب من الرادون .

ومنذ ان علم فرمي Fermi بما نشرته ا . كوري مع ف . جوليوت ، تحقق من ان استخدام مثل هذا المصدر للترنونات يمكن ان ينمي بشكل ضخم امكانيات خلق عناصر مشعة اصطناعية جديدة . اذ بالفعل ، ان صد شحنة النواة للجزيئات المشحونة إيجابياً يقتصر على النوى الخفيفة بإمكانية التفاعلات النووية المنبعثة . ومثل هذا العيب لا يؤثر بالنسبة الى التترن ، ويصبح من الممكن بالتالي الحصول على تفاعلات نووية بواسطة كل عناصر التصنيف الدوري .

في آذار سنة 1934 قام فرمي بالتجربة . وبعد محاولات عظيمة تناولت عناصر التصنيف الدوري الأولى ، لاحظ وجود نشاط اشعاعي جديد وذلك بتشعيع الفليور . وبامتنعاهل مناهج الكيمياء المشعة ، استطاع فرمي ومعاونوه ان يفصلوا ، بخلاف عدة أشهر ، عدداً كبيراً من العناصر المشعة الخفيفة والثقيلة . وكانت هذه العناصر تتوفر بفعل التفاعلات النووية (n, α) و (n, p) ، بالنسبة إلى النوى الخفيفة $(n, 2n)$ و (n, γ) بالنسبة إلى النوى الثقيلة . وبعد ستة أشهر تقريباً من بداية التجارب ، لاحظوا عرضاً ان النشاط الحاصل من جراء التفاعلات (n, γ) كان أكثر زخماً بكثير ، عند تدخّل الماء أو البارافين بين المنبع والعنصر المشع . ان التترنات السريعة المنبعثة من المنبع ، تتباطأ بالصدمة المطاطية فوق بروتونات المادة المهدرجة $hydrogène$ ، وتصبح « بطيئة » ، ثم « ذات حرارة » أي في حالة توازن طاقي مع الاضطراب الحراري الحاصل في المبطىء . واستطاعوا بالتالي اثبات ان اسر ترون من قبل نواة يصبح كثير الاحتمال عندما تكون سرعة التترون أكثر بطأً ، وعندما يكون الوقت الماضي بقرب النواة أكبر . وبالنسبة إلى بعض سرعات التترون ، لاحظوا فضلاً عن ذلك تزايداً متقطعاً في الامتصاص الذي يتم بميزات الرجع الحق أو الصدى .

وبفضل هذه التحسينات في تقنية انتاج العناصر المشعة ، نجح فرمي ومعاونوه في انتاج نظائر مشعة ناشطة من كل العناصر باستثناء الهيدروجين والهليوم وقسم من العناصر المشعة الطبيعية .

انشطار الأورانيوم - في تفاعلات الامر التي درسها فرمي يؤمر تترون من قبل النواة المشعة وتطلق النواة المتكونة جديداً قسماً من الطاقة المكتسبة بارسال شعاع γ . وإذا فالنواة الجديدة هي نظير للمادة الأولى ، وفي أغلب الاحيان يكون هذا النظير غير مستقر بفعل كثافة التترنات فيه ، ومن هنا تفككه أو انشطاره اللاحق بعد بث الكترون سلبى . وهكذا يتم الحصول

في النهاية على نواة ذات شحنة ايجابية اكبر وتنتمي الى مُنحصر من المراتبة العليا في التصنيف الدوري . ان هذه التفاعلية التي بدت وكأنها هي القاعدة بالنسبة الى كل النوى الثقيلة كان لها نفع خاص اذا طبقت على العنصر الأخير في السلسلة أي على الأورانيوم ذي العيار الذري 92 .

وقام فرمي ورازيتي واغوستينو بالتجربة ووجدوا أربعة عناصر مشعة جديدة زمنها عشر ثوان وأربعون ثانية وثلاث عشرة دقيقة وساعة وثلاثون دقيقة . ولم يكن العنصران الأخيران نظيرين لأي عنصر مجاور للأورانيوم . وأضاف استخدام « مفعول البارافين » نشاطات أخرى جديدة وأدت البحوث المجرة الى وجود عنصرين « عابرين الى الأورانيوم » 93 و 94 وسميًا بشكل عارض « انسيوم وهسيروم » .

وقام باحثون آخرون في هذا الوقت بالاهتمام بدراسة نشاطات متأتية عن الأورانيوم المشع بالثرونات واكتشف هاهن ، وليز ميتنر وستراسمان Strassman بشكل خاص تشكّل عدد كبير من العناصر المشعة الجديدة وخلصوا الى انشاء أسرة من العناصر العابرة الى الأورانيوم والمربط بعضها ببعض بروابط مشعة ناشطة تمتد من الرقم الذري 93 الى الرقم 97 . وسميت هذه العناصر بالتدرج ايكار هينوم وايكار وسميوم وايكار ريدنيوم وايكار بلاتين وايكار وور ، آخذين في الاعتبار تماثلها الكيميائي التدرجي . واصطلم هذا التأويل على كل حال بمصاحبة كبيرة . وادى العدد المتزايد باستمرار في العناصر المشعة العابرة الى الأورانيوم وكذلك شدة زخم تشكّلها مثلاً الى عدد مسرف من النشاطات المتنوعة بالنسبة الى نفس النظر (المتجازقات الاشعاعية) .

وبحثاً عن جواب لهذه الأسئلة ، درست ايرين كوري وسافيتش Savitch النشاطات المتكوّنة بفعل انتفاع الاشعاع بواسطة الشاشة الماصة للنحاس . واعطى الانفصال الكيميائي لنشاط جديد متكون من حقبة ثلاث ساعات ونصف سمات اللاتشان الكيميائية ، واستنتجت ايرين كوري وسافيتش وجود عنصر ناقل الى الأورانيوم له صفات التربة النادرة ، مع الإشارة الى الصعوبات في مثل هذا التفسير . ولم تستطع اعمال أخرى أجراها بشكل خاص براون وپريسورك وشيرر ودروست حل هذه المسألة .

وبخلال العام 1938 وأشار هاهن وستراسمان الى نشاطات جديدة مماثلة كيميائياً للباريوم وعزوها في بادئ الأمر الى نظائر للراديويم وبعدها أخضعوها لتحليل كيميائي دقيق . وعملت النتيجة النهائية لهذا العمل ، والتي نشرت في 6 كانون الاول 1939 على حل مسألة ناقلات الأورانيوم ، بشكل مذهش . واستنتج هاهن وستراسمان ما يلي :

« اننا ككيميائيين ، وسنداً للتجارب المذكورة اضطررنا الى تغيير التسميات » . . . « ثم وضع مكان ، Ra, Ac, Th ، الرموز : Ba, La, Ca . ونحن « ككيميائيين نوويين » قريبين بشكل من الأشكال من الفيزياء ، لا نستطيع الجزم حتى الآن بالقيام بهذه القفزة المعاكسة لكل التجربة الحالية في الفيزياء النووية . اذ ربما دفعنا سلسلة من المصادفات الغريبة الى الضياع والضلال » .

ان هذه السلسلة من المصادفات العجيبة لم تكن قد حصلت وفُسرَت ليز ميتروفرش هذه النتيجة باستعمال النموذج النووي المسمى « النقطة السائلة » ، والذي اقترحه نيلس بوهر . ان نواة

الاورانيوم تنقسم إلى قسمين خفيفين بعد أثر ترون واحد ، « وهذه الأجزاء الانشطارية » سنداً للتعبير الذي استعمله كل من ميتز وفريش ، كانت نظائر مشعة لعناصر وسطى في التصنيف الدوري .

وهكذا كانت « الناقلات إلى الاورانيوم » في معظمها نتائج انشطار ، وكان النشاط السري ثلاث ساعات ونصف الذي قالت به ايرين كوري وسافيتش مزيجاً من اللانثان والايثريوم الناشطين اشعاعياً . وأثار مقال هاهن وستراسمان نشاطاً علمياً كبيراً ، وعن طريقين مختلفين قدم جوليوت وفريش على التوالي البرهان الفيزيائي على وجود الانشطار . وكل النظائر الطبيعية للاورانيوم لم تساهم في الانشطار ويؤن . بوهر ان النظر القليل الوجود 235 للاورانيوم هو المسؤول عن ظاهرات انشطار الاورانيوم بفعل الترونات الحرارية .

التفاعلات المتابعة والطاقة النووية - أثناء تكون أجزاء الانشطار نراها تمتلك زيادة مهمة في الترونات بالنسبة إلى النوى في العناصر المتوسطة المستقرة . ويتحول قسم من هذه الترونات إلى بروتونات أثناء بث الاشعاعات β - المتتالية ، ولكن العديد من الفيزيائيين اعتقدوا بوجود وجود بث قسم من الترونات الزائدة أثناء الانشطار بالذات . وقد أثبتت هذه الظاهرة بصورة مستقلة من قبل فرمي واندرسون ونانشتاين Nanstein ، ومن قبل زيلارد وزين Zinn وف . جوليوت وهالبان Halban وكوارسكي Kowarski ، وكان العدد الأوسط للترونات المنبثقة عن الانشطار يتراوح بين اثنين وثلاثة ونصف .

وهكذا ومنذ 1939 بدا وكأن هناك حلاً قد وجد لمسألة تحرير الطاقة النووية . وكان الانشطار يفتقر بتحرير كمية مهمة من الطاقة ؛ طاقة حركية لأجزاء الانشطار ، ونشاطات اشعاعية β متتالية ، في حين ان بث الترونات قد يتيح تغذية الانشطار في كتلة من الاورانيوم . وعلى كل أمكن التنبؤ بالصعوبات العملية الكبرى ، لان الترونات السريعة المنبثقة أثناء الانفصال يجب تبطئها حتى يمكن ان تستوعبها فيما بعد نواة الاورانيوم 235 مع احداث متوحد يفوق الوحدة بقليل .

وأجريت محاولات مهمة في فرنسا من قبل جوليوت وهالبان وكوارسكي وف . برين . واستطاع هؤلاء بعد استعمال مجموعة متنافرة من أوكسيد الاورانيوم والماء الثقيل ، ان يحققوا تشكل تفاعل نووي متسلسل ومتلاق كما استطاعوا ان يبينوا انه بواسطة كميات كافية من الاورانيوم والماء الثقيل الشديد النقاء يصبح من الممكن الحصول ثم السيطرة على التفاعل التسلسلي المغذي . وتوضحت هذه الاستنتاجات بواسطة تقارير سرية وضعت امام اكاديمية العلوم وكذلك بواسطة خمس براءات حصلت بواسطة الصندوق الوطني للعلوم بين أول آيار 1939 وأول آيار 1940 . وأدت الهزيمة الفرنسية امام الالمان واحتلال فرنسا إلى توقف هذه البحوث . اما كمية الماء الثقيل التي اشترتها فرنسا من النروج فقد نقلت إلى انكلترا حيث استطاع هالبان وكوارسكي ان يشتتا بصورة نهائية الامكانية العملية للقيام بتفجير نووي متفاعل .

وفي الولايات المتحدة درس فرمس وزيلارد ووغنر Wigner وزين في جامعة كولومبيا ثم في برانس تاون شبكة مكونة من الاورانيوم والجرافيت . وفي النهاية تم تفريع أول مفاعل ذري صنع

في شيكاغو تحت اشراف فرمي وذلك في 2 كانون الأول 1942 .

وعملت الحرب واحتلال المانيا لفرنسا ولقسم كبير من أوروبا على تغيير عقلية البحث النووي وتطوره بشكل جذري في العالم أجمع . فالمبادلات العلمية قد ترقفت بفعل الحرب طيلة عدة سنوات وبشكل خاص في مجال الفيزياء النووية ؛ ومنذ 1939 كان العديد من الفيزيائيين يتوقع القوة التدميرية الهائلة الموجودة في الطاقة النووية . ثم منذ 1940 أخذت الأبحاث تتوالى في الولايات المتحدة في سرية مطلقة ، وبوسائل بدت في بادئ الأمر متواضعة ، ثم أخذت تزداد أهمية أكثر فأكثر .

هذه الوسائل كانت تجب زيادتها بالجهود التقنية والعلمية التي بذلتها الولايات المتحدة منذ دخولها في الحرب العالمية . والتأثر السريع جداً في التقنيات ، والالكترونيك بشكل خاص ، قد اعطى وفور وسائل ما تزال تزداد طاقتها لمجموعات الفيزيائيين الاميركيين ، المستقيمين بمجيء العديد من العلماء الأوروبيين . وظلت نتائج هذه الجهود سرية حتى بعد نهاية الاعمال الحربية .

وهكذا لم يكن ممكناً معرفة الاهتمام باطلاق الذرية من عقاليها الا في سنة 1945 ، أي في وقت لقاء القنبلتين الذريتين على هيروشيما وناغازاكي . وكان للانطباع الحاصل من الآثار المدمرة لهذه الأسلحة ان سلط انتباه العالم أجمع على أهمية التقدم الحاصل بخلاف بضع سنوات . ولكن كان يلزم الكثير حتى يمكن الكشف عن النتائج العلمية الحقة ، وكان لا بد عملياً من انتظار سنة 1948 حتى ينشر أول تقرير مهم عن النتائج . وبخلال الفترة 1940 - 1948 كانت البحوث قد تتابعت في بلدان أخرى وأعطيت عنها تقارير مفصلة . من ذلك انه في بعض المجالات المهمة ، من الفيزياء النووية ، كان كل تطوير علمي طبيعي مستحيلاً ، وتاريخ هذا المجال بخلاف هذه الفترة لم يكن يركز على أي أساس تاريخي تسلسلي ذي قيمة .

فضلاً عن ذلك وعقب ركود سنوات الحرب وهجرة عدد كبير من العلماء الى الولايات المتحدة الأمريكية فإن المجهود العلمي في البلدان الأوروبية عاد الى الانطلاق وساهم من جديد في تقدم العلم .

وهذه المساهمة الدولية ، مضافة إلى الاهتمام الذي اثارته الفيزياء النووية ، وإلى المعدات الجديدة الموضوعية بتصرف الفيزيائيين مثل : مسرعات الجزيئات ، الكترونيك سريع ، لاقطات جديدة ، أدت الى تطوير معقد وجريء وطموح للفيزياء النووية ولتطبيقاتها العملية .

واذن فمن الوهم ، نتيجة استحالة العودة للوراء ، محاولة السعي لتتيب مجمل التطورات في الفيزياء النووية منذ سنة 1940 لغاية الوقت الحاضر ترتيباً تسلسلياً ؛ ومن الأفضل ، على ما يبدو ، الرجوع الى تطور الافكار والى تسلسل الاكتشافات في كل فرع من مختلف الفروع التي تزلف في الوقت الحاضر ، البناء المعقد للفيزياء النووية .

III - النشاط الاشعاعي والنماذج النووية

مختلف أشكال النشاط الاشعاعي ومنهجية النوى الذرية - حتى بداية سنة 1934 لم تعرف الا النظائر المشعة الأربعون تقريباً الطبيعية والمنتمية بشكل أساسي الى العناصر الكيميائية الأكثر

ثقلًا ، ابتداء من الثاليوم الى الاورانيوم . لقد اكتشف . و . جوليوت كوري النظائر الثلاثة الاولى المشعة الاصطناعية . وفي سنة 1937 تم اكتشاف 190 منها ، وفي سنة 1941 عرف منها 370 وفي سنة 1949 تم التعرف الى ما يقارب من 800 عنصر ، واليوم هناك أكثر من ألف .

ان كل العناصر الكيميائية وكل سلسلة الحقب الانشطارية أصبحت ممثلة : بعض العناصر لم تعرف الا من خلال نظائرها المشعة .

ولانتاج هذه النظائر المشعة الجديدة ، بعد جزئيات α الصادرة عن العناصر المشعة الطبيعية ، ثم الترونات البطيئة التي استعملها فرمي ومعاونوه ، تم الاكثار من استعمال الدوتونات المسرعة . ومنذ الحرب حلت الحاشدة الذرية ، في اغلب الاحيان محل المسرعات ذات الجزئيات من اجل انتاج هذه النظائر .

وبذلت جهود لانتاج هذه العناصر المشعة ، من جهة بسبب تطبيقات بعضها (صوديوم - 24 ، فوسفور - 32 ، حديد - 59 ، يود - 131 المكتشفة قبل الحرب ؛ ثم الكاربون - 14 وكثير غيرها اكتشفت بعدها) ، ومن جهة اخرى لدراسة واكتشاف مختلف خصائص النشاط الاشعاعي في هذه النوى : نموذج وتصميم الانشطار . وزيادة على النشاط المشع بفضل بث اشعة α وبث اشعة β^- (المعروفة بفضل النشاط المشع الطبيعي) ، والنشاط الاشعاعي β^+ (المثبت عند اكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي) ، اكتشف النشاط الاشعاعي عن طريق أسر الكترون مداري ذري يجر ، مثل بث β^+ ، إلى تحويل نواة ذات شحنة Z إلى نواة ذات شحنة Z-1 (اكتشاف الاسر K من قبل الفاريز Alvarez سنة 1937) .

ومن جهة اخرى يمكن لبعض النوى الثقيلة جداً ان تتحطم بالانشطار العفوي بغياب اي تأثير خارجي (اكتشاف الانشطار العفوي للارانيوم من قبل فليروف Flerov وبيترزك Peterzjak سنة 1940) ؛ وبعض النوى فوق الارانيوم [التي يفوق عدد ذراتها ذرات الارانيوم] مثل الفرميوم - 256 لا تبدو وكأنها تتحول بالانشطار (سيبورغ Seaborg واعوانه) . ان بعض النوى المشعة تتفكك ايضاً بعد بث بروتون أو نوترون : من ذلك في النشاط الاشعاعي لللازوت - 17 وفي نشاط البروم - 87 يكون البث β^- متبوعاً ببث نوترون واحد . وتم ايضاً اكتشاف تحول اشعاعي حيث يبقى تركيب النواة من بروتونات ونوترونات على حاله : فبعض النوى يمكن ان تبقى لوقت طويل نسبياً في حالة إثارة فوق الاستقرار وتعود إلى الحالة الأساسية مع بث اشعاع γ ، أو عند اللزوم ، الكترون انقلابي داخلي . ان هذه الظاهرة ، الثابتة تجريبياً على اليوم - 80 من كورتشافوف ومعاونيه سنة 1935 ، سميت تجازية (isométrie) : وتفسيرها النظري يعود الى ويزساكر Weizsäcker (1936) .

ان كل نماذج هذا النشاط الاشعاعي قد درست بعناية ؛ وعدد الاشعة المشعثة يتناسب دائماً مع عدد النوى المشعة الحاضرة ، من هنا تنازل أو تراجع اسي ديلي بخلال فترة مميزة .

وانطلاقاً من هذه النتائج امكن تحقيق تصنيفية للنوى المستقرة والمشعة : فقد وضع جدول بالنظائر بوضع عدد البروتونات Z على محور السينات (abscisse) وعلى الإحداثي الراسي (ordonnée) عدد الكتلة A (المساوية لعدد الترونات n) . ونرى عندئذ ان النوى المستقرة تتجمع

بقرب خط مستقيم $N = Z$ ، مع وجود زيادة في التثرونات بالنسبة الى النوى الثقيلة . وتحول النوى المشعة غير المستقرة إلى نوى أكثر استقراراً وأكثر ارتباطاً ، وكلما بعدت نواة مشعة عن منطقة الاستقرار كلما قصرت فترة تقلصها ، وسطياً ، كما ان الطاقة المحررة عند التحول المشع تصبح أكثر ارتفاعاً .

وتتطابق بعض اعداد التثرونات والبروتونات مع صور واشكال مستقرة بنوع خاص : وقد سميت لذلك « بالارقام السحرية » (إلساسر Elsasser ، 1934 ، م . ج . ماير ، 1949) .

وقد بُذِلَ جهد من اجل تحديد - تجريبياً ونظرياً - طاقة ارتباط النوى .

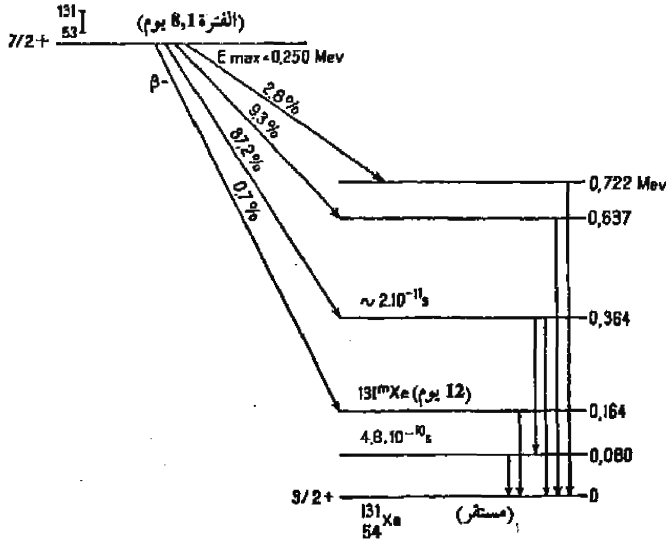
وحصلت النتائج التجريبية بواسطة « المنظرة الطيفية » للكتل ، وكذلك الحال بالنسبة الى مخططات الانشطارات (صورها) والتفاعلات النووية . ان الطاقة الكاملة لاتصال نواة ما تتحدد ، كما الطاقة الضرورية لفصلها ، بكل نكليوناتها (نوياتها) التكوينية . وهكذا تبين ان طاقة الاتصال الوسطى بالنسبة الى النكليونة (طاقة الاتصال الشاملة مقسومة على A) هي تقريباً : (8 MeV) ، ولا تتغير كثيراً بين نواة واخرى ، الا فيما خص العناصر الخفيفة جداً : ان النوى الوسطى تكون نوعاً ما اكثر ارتباطاً من النوى الاخرى .

ان هذه النتائج ، وكذلك الثبت من ان النوى هي على العموم كروية تقريباً وان حجمها متناسب بصورة تقريبية مع عدد النكليونات ، حملت الفيزيائيين على استعمال صورة كلاسيكية وعلى تشبيه النواة بنقطة سائل غير قابل للانضغاط وذو كثافة عالية . ومنذ سنة 1935 ، استطاع Weizsacker ان يقدم صيغة اولى نصف تجريبية لكتل النوى : وقد كان هذا النوع من الصيغ مفيداً جداً فيما بعد لاستباق معرفة الكتل وطاقات الاتصال ، وخاصة لاحتساب الطاقة المحررة عند الانشطار .

ودراسة صور التحطم الاشعاعي ، ثم دراسة التفاعلات النووية ، اتاحت ، بخلال الثلاثين سنة الماضية تجميع عدد ضخم من المعلومات الكمية عن مستويات طاقة النوى .

وكما الذرات والعجرات - انما بطاقات اكبر بكثير - فان كل نواة تمتلك عددا من المستويات السرية من الطاقة ، كل واحد منها يتوافق مع حركات داخلية مختلفة . وتكون هذه المستويات ، عموماً متلاصقة اكثر كلما كانت طاقة الحث اكبر . ان نواة ما تمر من مستوى الى آخر ادنى منه بفضل بث اشعاع γ أو بث الكترون تحول داخلي . وكل مستوى ، زيادة على طاقته ، يمكن ان يتحدد بعدد من السمات المميزة الكمية : العزوم الزاوية ، التعادل ، الخ .

ومشى التقدم الفيزيائي مع التقدم التقني جنباً الى جنب : فقد اتاحت المناهج التجريبية الرجوع إلى هذه المميزات عن طريق دراسة المستويات وذلك انه تم تحسينها بشكل قوي . فقد امكن تطوير مقاييس مطيافية مغناطيسية تتيح تحديد الاطياف المتواصلة B ، واطياف الخطوط α ، وخطوط الكترونات التحول الداخلي لتشعيعات γ ، وذلك بدقة وضبط يزيد على واحد بالالف في الطاقة ، في العديد من المختبرات (ك . سيغباهن K. Siegbahn في السويد مثلاً) . وقياس



صورة 12 - مثل عن مخطط للتحطم النووي .

معاملات التحول الداخلي لانتقالات γ ومقارنتها مع الحسابات النظرية (روز Rose وسليف Sliv خاصة) قد لعب دوراً كبيراً . واتاح ظهور الانابيب الالكترونية (التي تضاعف الصور بتكثيف الضوء) بعد الحرب العالمية الثانية ، ازدهاراً عجيبياً في تقنية المطيافية التي تستخدم اللمعان أو الإلماض .

هذه التقنية الاخيرة حلت ، في الكثير من الحالات محل عدادات جيجر - مولر ، ومحل الطريقة القديمة القائمة على الرصد بالعين للإلماضات الحاصلة بفعل اثر الجزيئات α فوق شاشة من سولفور التوتيا . وقد امكن انجاز مومضات عضوية (كالمان 1947 Kallmann) ومومضات غير عضوية (احاديث البلور من Na I (TI) ، هوفستادتر Hofstadter 1948) ذات خصائص مفيدة جداً ؛ والطاقة الضائعة بالتشعيع في المومض تتحول جزئياً الى ومضات ثم الى نبضة كهربائية عند خروجها من مكثف الصور Photo multiplicateur ؛ ولاول مرة امكن التقاط اشعة γ طاغوية بفعالية تبلغ 100 % .

وفي السنوات الأخيرة ظهرت لاقطاط ذات وصلة ، نصف موصلة من السيليسيوم ، وهي انواع من الغرف الثاينينة في الحالة الصلبة .

وتقدم علم الالكترونيك النووي بخطوات العملاقة : وكان الغرض الافادة ما امكن - اي بخسارة اقل ما يمكن من الاعلام - من النبضات الكهربائية المتكونة عند الخروج من الاجهزة الالتقاطية لمختلف انواع التشعيعات . واتاحت تقنية التطابقات (بوث Bothe ، 1929 - 1925 ؛

روسي (Rossi, 1930) اليوم قياس علاقات ارتباطات زاوية وتحديد حيوات وسطية اقل من النانوثانية (أي الجزء من مليار من الثانية المعادل 10^{-9}) ؛ وهناك طرق بارعة بشكل خاص توصلت حتى الى خفض هذا الحد قبلت 10^{-11} من الثانية .

ودراسة البث الانتجاعي لاشعة γ . (البث عن طريق نوى من نوع النوى المرسله) ادت بشكل آخر الى تحديد بعض الحيات القصيرة جداً بواسطة قياس عرض المستويات (ان عرض مستوى من المستويات يتناسب عكسياً مع متوسط حياته) . وتميز حالة متجانسة [ذات ذرات متماثلة النوع والعدد ولكنها مختلفة من حيث النسق والخصائص] ، يبدو هكذا اقل وضوحاً : فكل مستوى نووي له حياة متوسطة ، قد تكون قصيرة جداً أو طويلة جداً بحسب ما اذا كان الانتقال نحو مستوى أدنى يتوافق مع تغيير صغير أو كبير في العزم الزاوي (الدوران اللولبي Spin) .

في سنة 1958 انجز موسبور Mossbauer في هيدلبرغ بث وامتصاص اشعة γ بدون تراجع ودون توسيع ذي قيمة للخيوط الطيفي : ويلحظ الاثر في درجة الحرارة المنخفضة ويتأتى عن حبس النواة المرسله أو الماصة داخل شبكة بلورية . والعرضي المتناهي الدقة (عرض بمقدار واحد من اصل 10^{-12}) لاشعة γ الحاصلة بهذا الشكل ، اتاح القيام بدراسات ذات فائدة كبيرة (راجع بهذا الموضوع دراسة مدام م - آ . تونيلات في الفقرة II من الفصل II من هذا القسم) .

النماذج النووية الاولى : النماذج الذرية « النقطة السائلة » ، ونموذج الجزئية α - في النماذج النووية الاولى ، تم السعي ، بدون تبرير ، لنقل النموذج الذري نجح بالنسبة الى الذرة ، حيث تحرك الالكترونات بشكل مستقل تقريباً بعضها عن بعض ضمن القدرة الكهربائية الشابتة المركزية التي تولدها النواة (الكبيرة تجاه التفاعلات المتبادلة للالكترونات عندما ترتفع Z) . ولما كانت مثل هذه القدرة المسيطرة غير موجودة داخل النواة ، فقد استبدلت بقدرة متوسطة ، لتحل محلها مبدأياً بشكل يقلص الطاقات المحسوبة مع الاخذ في الاعتبار التفاعلات المتبقية من النكليونات اثنين اثنين ، وفقاً للطريقة التحويلية التي قال بها ريتز Ritz : ان طريقة هارترتي - فوك Hartree-Fock هي التي استعملت لمعالجة مسألة الذرة بدقة اكبر .

وبصيغة مبسطة تم اهمال التفاعلات التخلفية واخذ كقوة مركزية وسطى « ثقب من القوة » ذو جوانب وعرة ، وذو شعاع يعادل الشعاع النووي التجريبي ، عمقه مضبوط لكي يعثر على طاقة الاتصال الملائمة بكل نكليون (8 الى 10 MeV بالنسبة الى النوى المتوسطة) . وهكذا توفر « نموذج ذي طبقات » . وكما هو الحال في الذرة ، نملأ بالنيوترونات والبروتونات المستويات الفردية المتتالية الحاصلة على هذا الشكل ، وذلك بالتوافق مع مبدأ الاستثناء الذي قال به بولي Pauli : جزئية واحدة من كل نوع في كل حالة (مع الاخذ في الاعتبار حالة الدوران اللولبي) . وهذا ناتج عن ان النيوترونات والبروتونات هي اجزاء فيرميون [نسبة الى فرمي] من الدورة النصف 1/2 مثل الالكترونات .

وهناك عبارة اكثر تبسيطاً هي عبارة « غاز فرمي » .

نفترض حواجز أو جوانب البر ذات ارتفاع غير متناه ، اي ان التكيلونات تفترض طليقة داخل
علية تستعصي على الاجتياز . في الحالة الاساس من النواة ، تملأ كل حالة فردية ببترونين حالات
دورانها مختلفة ($m_z = +1/2, -1/2$) وبرتونين تكون اسقاطات دورانها على محور التكميم
متعارضة حتى الحصول على الاعداد المفترضة من الترونات N والبرتونات Z (ونفترض من اجل
التبسيط : $N = Z = A/2$) . وتكون التكيلونات الأخيرة فوق « سطح بحر فرمي » . وفي حالات
اثارة النواة ، تمر بعض التكيلونات فوق حالات فردية أكثر ارتفاعاً ، فوق هذا السطح .
وقد استعمل هذا النموذج بشكل خاص منذ 1932 لحساب كثافة مستويات الطاقة العليا ، في
حسابات التفاعلات النووية .

في سنة 1934 لاحظ الساسر Elsasser الاستقرار الاستثنائية في النوى ذات 82 نترون أو
ذات 126 بروتون وحاول ان يفسر هذه الاعداد « السحرية » ، معتبراً انها تطابق مع الامتلاء الكامل
لبعض طبقات النواة بالترونات والبرتونات . الا انه مع ذلك لم يستطع ان يعطي نموذجاً من
الطبقات يتيح العثور على هذه الاعداد ثانية .

ومن جهة اخرى ، تكاثرت الاعتراضات ضد هذه النماذج ذات الجزئيات المستقلة (أو في
حالات فردية) . واهم اعتراض جاء من دراسة التفاعلات النووية عن طريق التوترونات
« الحرارية » التي توافقت طاقتها الحركية مع التوازن الحراري للوسط المجاور .

ان المقطع الفعال الأسر لهذه الترونات يقدم إرجاعات ضيقة جداً (بعضاً من ev) تتطلب
مدة حياة نسبياً كبيرة للنواة « المركبة » المؤلفة من النواة الأساسية ومن الترون (من عيار مليون
مرة مدة اجتياز النواة من قبل الترون) . ولكن هذا الترون ذا الطاقة البالغة $8MeV$ تقريباً فوق
سطح بحر فرمي ، رغم ان طاقته الحركية غير ذات قيمة ، هو غير مرتبط بالنواة . ان مدته اسره من
قبل بئر من القوة ضمن هذه الشروط ، سوف تكون من مستوى مدة اجتياز النواة .

هذا التعارض هو في اصل نظرية النواة المركبة التي قال بها ن . بوهر N. Bohr الذي
يفترض وجود مسار حر وسطي لتكيلون ما في النواة ، صغير أمام الشعاع النووي : ان طاقة الترون
تتوزع بسرعة عن طريق الاصطدامات المتتالية بين كل التكيلونات الموجودة في النواة المركبة .
وبدت هذه الفرضية متناقضة باطلاق مع اي نموذج فري .

يفترض هذا النموذج مساراً حرّاً للتكيلونات كبيراً أمام الشعاع الذري ، اي سلوكاً للمادة
النوية شبيهاً بمسار غاز ما . ان نظرية بوهر الجديدة تقتضي ، بالعكس ، حالة مماثلة لحالة سائل
ما ، مما يبدو مُثَبِّتاً بالقيمة العالية للقوى النووية ذات المدى القصير الملحوظة الوجود في الصدمات
بين التكيلونات الحرة (بوتون - بروتون ونيوترون - بروتون) .

وحمل نموذج القطرة السائلة الذي تدخله ن . بوهر سنة 1939 ، ويزساكر الى وضع صيغته
نصف الاختبارية ، تعبيراً عن الكتل الصحيحة للنوى . كما اتاح أيضاً التنبؤ بحالات مستثارة
للنوى توافقت مع حالات توقفية مكتمة تتخذها حركة النقطة السائلة .

كانت تكتب في بادئ الامر معادلات الهيدروديناميك الكلاسيكي من أجل الحركات

الصغيرة غير الدائرية بالنسبة الى سائل غير قابل للضغط . وتنتج الطاقة الكامنة عن الضغط السطحي الذي تحدته النقطة وهي تقاوم تشويهها . وكان للطاقة الحركية تعبير عام معقد ، ولكن هذا التعبير يمكن ان يبسط ، في حال افتراض وجود تشوهات تابعة من الدرجة الاولى في المحاور العمودية الاساسية (يكون السطح النووي عندها بشكل مجسم اهليلجي مرتجع ودائري) ، ثم تابعة من الدرجة الثانية ، الخ . وعند التكميم بواسطة الاساليب المعتادة ، يتم الحصول على مستويات متساوية البعد ، بالنسبة الى كل نوع من التشويه ، مطابقة لتوزيع كمية ما ، أو لتوزيع فوتوني أو فوتونين ، الخ . من كل نمط . وكانت حالات التكافؤ ، وينوع من الغموض ، العزم الزاوية في هذه المستويات ، متوقعة ايضاً (ويزساكر ، فلوغج Flugge ، الخ) .

ولكن المعلومات ، في هذه الحقبة ، (1935 - 1937) ، كانت قليلة حول المستويات النووية ، فلم تمكن من مواجهة هذه التنبؤات بالتجربة .

ومن جهة اخرى ، ادى وجود النشاط الاشعاعي α ببعض الباحثين الى افتراض وجود جزئيات α « سابقة الشكل » في النوى . وسرعان ما تبين ، في النوى الوسطى ، ان طاقة الاتصال عن طريق النكليون (8 الى 10 MeV) ، كانت اعلى مما هي عليه في الجزئية α (7 MeV) . هكذا لا يمكن لجزئية α ان تكون مستقرة في نواة وسطى . ولكن يمكنها ان تكون كذلك في نواة ثقيلة حيث تقلص هذه الطاقة فتخفص الى 5 MeV وسطياً (النوى المشعة) أو في نواة خفيفة ، حيث طاقة الاتصال هي من ذات المستوى . ويمكن اعتبار بعض النوى الخفيفة كتجميع للجزئيات α Be: (2 α ، غير مستقرة) ؛ $^{12}_6\text{C}$ ؛ (ثلاث جزئيات α) ؛ $^{16}_8\text{O}$ (4 α) وكذلك $^{20}_{10}\text{Ne}$ (5 α) . وصمم ويلر Wheeler (1937) نموذجاً مماثلاً لنموذج الذرات في جزيء ، المصفوفة بانتظام على اتصال بعضها ببعض .

تستطيع هذه المجموعات ان تدور ، مما يبنى بمستويات دوران بالنسبة الى هذه النوى ، كما بالنسبة الى الجزئيات . وفي حالة التحفيز الاعلى ، تستطيع الجزئيات α ان تتذبذب حول موقعها التوازني : مستويات الذبذبة . وتتوافق التوقعات النظرية بالنسبة الى العزم الزاوية ، مع حالات التكافؤ ، كما بالنسبة الى مواقع المستويات (بعد تصحيح الثوابت المعيارية) ، توافقاً جيداً نوعاً ما مع المعطيات الاختبارية . ان مجال تطبيق هذا النموذج ضيق للغاية . الا ان هافستاد Hafstad وتلر Teller (1938) وسعاه فاشملاه نوى خفيفة مثل ^4_2He ، ^7_3Li ، ^9_4Be ، اعتبرته كمجموعات جزئيات α والى حد ما نكليون .

الاعداد « السحرية » ونموذج الطبقات ذو التفاعل بين التدويم والمدار - وعلى كلى ، الكثير من معطيات التجربة تدل على وجود عدد « سحري » ، والنوى المحتوية على هذه الترونات (N) والبروتونات (Z) ، وهي اما اكثر استقراراً أو اكثر عدداً من النوى ذات اعداد مجاورة لـ Z, N .

فقد بين درس طاقات اشعة α المنبثقة عن الاجسام المشعة الطبيعية القريبة من $^{208}_{82}\text{Pb}$ (126 = N ; 82 = Z ; 208 = A) منذ 1934 ان البروتون الثاني والثمانين يتمتع بطاقة اتصال اكبر من طاقة الثمانين والواحد والثمانين والثالث والثمانين والرابع والثمانين مثلاً . وكذلك بالنسبة الى الترون

السادس والعشرين بعد المئة بالنسبة إلى الـ 124 والـ 128 (وهذا إذاً بالاستقلال عن واقع ان المجموعات ذات العدد المفرد من النكليونات هي اقل ارتباطاً من المجموعات ذات العدد المزدوج) .

ومن جهة اخرى ان النظائر (أو التواترات) تكثر بشكل خاص وغزير بالنسبة الى Z (أو $= N$) 20 (كذلك $^{40}_{20}\text{Ca}$) و 50 (وهي من نظائر القصدير) . وهذا يصح ايضاً على الغزرات المطلقة كما على الغزرات النسبية ؛ وإذا كانت درجة حرارة تكون العناصر تتوافق مع طاقة ضعيفة امام MeV واحد ، وهذا امر دائم الوجود بالنسبة الى النجوم ، فان هذا الحدث يقسره الاستقرار المتزايد في هذه النوى .

الا ان محاولة التفسير التي قام بها الساسر بواسطة النموذج ذي الطبقات قد فشلت : وحدها الفرضيات غير الواقعية حول الطاقة الكامنة الوسطى كان يمكن ان تمكن من تفسير الاعداد السحرية 2, 8, 20, 28, 50 . في هذا النموذج تمتلئ المستويات الفردية للنكليونات ، من الطاقة الكامنة الوسطى ، تبعاً ، ابتداءً من مستوى الطاقة الأدنى ، تمثيلاً مع المبدأ الاستثنائي الذي وضعه بولي . والتدافع الكولومبي (نسبة إلى Coulomb) بين البروتونات يفسر كيفية امتلاء هذه المستويات بالترونات بسرعة اكبر .

وان اهتمنا الدوران ، فان مستويات الجزئية هذه داخل طاقة كامنة مركزية تتميز بالاعداد الكمية التالية : n هو عدد كمي شعاعي (الخ ، $n = 1, 2, \dots$) ، ℓ ، العدد الكمي للعزم المداري ($\ell = 0, 1, 2, \dots$) ، عدد كمي مغناطيسي ذو عزم مداري (يمكن في حال ثبوت ℓ ان يأخذ القيم $2\ell + 1$ المنطلقة من $-\ell$ الى $+\ell$ عبر قفزات صحيحة : $-\ell, -\ell + 1, \dots, \ell - 1, \ell$) .

ويطبق مبدأ الاستثناء على هذه الحالات ، مع الاخذ في الاعتبار ايضاً حالتي الدوران الممكنتين ، المتميزتين بالعدد الكمي المغناطيسي للدوران : $m_\ell = \pm 1/2$ ويمكن وضع نكليون واحد من نوع ما (نرون أو بروتون) في حالة تتميز بمجمل الاعداد (n, ℓ, m_ℓ, m_s) .

[باعتبار m_ℓ ، بالوحدة \hbar ، اسقاط العزم الحركي المداري على محور التكميم Oz ، وباعتبار ℓ تعادل طول هذا « السهم » . m_s هي اسقاط العزم الحركي الخاص أو الدوران الذي يعادل طوله $s = 1/2$] .

وكل الحالات $(n\ell)$ تتطابق مع نفس الطاقة : فيقال هناك تفهقر فوق m و m_s .

وعلى كل ، اذا كانت القوة الوسطى تشتمل على حد التفاعل دوران - مدار بين العزم المداري وبين دوران الجزئية ، فان m_ℓ و m_s لا يمكن ان يعتبرا مستقلين : فالعزمان الحركيان يتألفان وفقاً للعزم الزاوي الشامل $j = \ell \pm 1/2$ فقط اذا كان $\ell = 0$. انها الحالات (n, ℓ, j) التي تتوافق الآن مع نفس الطاقة : يوجد فقط تفهقر فوق m التي يمكن ان تأخذ القيم $j+1, j, j-1, \dots, -j+1, -j$ ، والتي تتوافق مع اسقاط العزم الزاوي الشامل :

وهكذا ينفصل كل مستوى طاقي (nl) سابق عموماً الى مستويين متمايزين (n, l, j).

$$(nl) \begin{cases} (n, l, j = l - 1/2) \\ (n, l, j = l + 1/2) \end{cases}$$

وهكذا يرتفع جزئياً التفهر السابق . ونجد عند ملء المستويات (n, l, j) عندما يطبق مبدأ الحصر على (n, l, j), نجد الأعداد السحرية 2, 8, 20, 50, 82, 126 شرط ان نفترض ان (n, l, j = l + 1/2) = z توجد تحت (n, l, j = l - 1/2) وهو ترتيب معاكس للترتيب المتوفر بالنسبة الى المستويات الالكترونية العميقة في الذرة .

ونجاح النموذج لا يقف هنا ؛ فهو يتيح العثور على العزم الزاوي الشامل وعلى تكافؤ (1) الحالة الأساسية للنوى المفردة وفي أغلب الأحيان على تكافؤ حالاتها الأولى المثارة . وعندها يمكن تزاوج البروتونات ، مثل الترونات ، زوجين زوجين ، حينما يكون العزم الزاوي لكل منها اي لكل حالة من حالات التكافؤ ، عدداً . وعندها يصبح العزم الزاوي J في النواة هو العزم j ، في النكليون المفرد الذي يوجد فوق المستوى الفردي (n, l, j) ، الاعلى ؛ انه نكليون اعزب فرد . وكذلك تكافؤ النواة يتوافق مع هذا المستوى (+ اذا كان l مزدوجاً ثم - اذا كان l مفرداً) . وبالنسبة الى الحالات المثارة نفترض انها تتطابق :

- اما مع مرور هذا النكليون الاعزب فوق مستوى فردي اكثر علواً ؛ - واما مع مرور نكليون اعزب عند (n', l', j') ، فوق المستوى (nlj) .

ان هذا النكليون يشكل مزدوجاً ذا عزم معدوم ، مع العزم السابق ، ويظهر الفراغ فوق (n', l', j') عزمياً زاوياً $|J' = l'$ بالنسبة الى الحالة المثارة ، كما يظهر تكافؤاً متوافقاً مع J . ان هذا النموذج وهذه القواعد قد اقترحتها ماريا غويرت - ماير (من شيكاغو) ، من جهة ، واقترحها هاكسل وجنسن وسويس من هيدلبرغ من جهة اخرى سنة 1950 .

وبالنسبة الى الحالات الاساسية ، لا نعثر الى على استثناءين تكون فيهما $J = j - l$. وبالمقابل فان عدداً كبيراً من الحالات الاولى المثارة لا يمكن ان يفسر هكذا . وعندها يجب ان نحسب حساباً للتدخلات الرئيسية بين النكليونات التي تؤدي في الواقع الى حالات اكثر تعقيداً من الحالات المتوقعة في نموذج النكليون الاعزب . وتزاوجات العزم الزاوية j الفردية قد تكون اكثر تعقيداً من حالات توقعها هذا النموذج .

ومن جهة اخرى تمحو التفاعلات المتداخلة البنية الموجودة بشكل طبقات فتولد « خللًا

(1) يرمز الى التكافؤ بالإشارة + أو - التي تدل على أن دالة الموجة هي مضروبة بـ +1 أو -1 عند إجراء تناظر متعلق بأصل الاحداثيات ، لنظام لا متغير بفعل هذا التناظر

ميثات : إن حالة نووية ما يجب ان تصور عندئذٍ بمجموع متوازن من دالات الموجات المتوافقة مع امتلاءات مختلفة للمستويات الفردية .

هذه الاعتبارات وهذه الحسابات هي أيضاً ضرورية من أجل التكهّن بحالات النوى Z و N المفردة . ولكن الحسابات لا يمكن ان تجرى الا بالنسبة الى النوى الخفيفة .

النموذج « الموحد » الذي وضعه بوهر - موتلسون Bohr - Mottelson - كل هذه التلطيفات للنموذج ذي الطبقات لم تستطع ان تفسر الشكل الاهليلجي الذي يتخذه توزيع الشحنة ذات النوى التي يبعد فيها Z و N عن الاعداد السحرية . ولكي يُفسّر آ . بوهر وب . ر . موتلسون هذا الشكل الذي يعبر عن نفسه بعزم مربع الاستقطاب المرتفع عارداً جزئياً في سنة 1952 الى نموذج النقطة السائلة .

اعتبرا وتفحصا نكليونات خارجية فوق مستويات فردية من قوة كامنة غير كروية ، ونظرا الى « قلب » ذي حركات تصورها متغيرات جماعية كحركات نقطة سائلة . وتتبع القوة الكامنة الوسطى تشوهات القلب ، وتأخذ ، فضلاً عن ذلك ، حركة هذا القلب فتزأوجها مع حركة النكليونات الخارجية . فإذا كان هذا التزاوج خفيفاً ضعيفاً ، تتم العودة الى المستويات الجماعية في نموذج النقطة ذات الفونون الواحد أو الفونونين . . . الخ : وهي مستويات دذبذبة نواة كروية تتماثل في كثير من النوى زوجين - زوجين .

وإذا كان التزاوج قوياً يتم العثور على قوة كامنة اهليلجية تدور ببطء ، وذلك بواسطة تشويهاً في النظام الاول . ويحصل لدينا « مستويات جماعية دورانية » محددة تماماً بالنسبة الى الكثير من النوى البعيدة عن الاعداد السحرية ، كما يتحصل لدينا مستويات فردية داخل قوة اهليلجية كامنة . ويكون الدوران في الواقع شبه دوران ، اي نوعاً من حركة المد والجزر يدور خلالها السطح الاهليلجي ، ويتعلق فيها العزم الجمودي المطابق ، بالتشويه (ويلتني معه) وهذا التشويه ينتج بذاته عن قوة التزاوج بين القلب ذي النكليونات الخارجية ، وبين ثابتة « التشويه » فيه ، ويجب ان نفترض ان القلب غير قابل للتشويه عندما يتكون من طبقات مشبعة (الاعداد السحرية) .

وتلقى نموذج بوهر - موتلسون تأكيداً قوياً تجريبياً في المجالات ذات التزاوج الضعيف (مستويات الدذبذبة فيها Z و N مزدوجة) وذلك عندما يكون $66 \leq A \leq 144$ ، وفي المجالات ذات التزاوج القوي (وفيها مستويات الدوران) عندما يكون $140 < A < 185$ (الترتيب الثامنة) ، وفي حالات $A > 225$ (عبر الاورانيوم) . وفي المستويات الدائرية تدل التجربة على قيم عزم جمود أكبر بكثير مما تدل عليه النظرية (وغالباً ما تكون هذه القيم من مستوى القيم الناتجة عن دوران النواة الصلبة) .

وهكذا تارجحت النماذج في اغلب الاحيان بين نماذج ذات جزئيات مستقلة ، فيها تفترض التفاعلات بين النكليونات في النواة ضعيفة افتراضاً (طبقات) ، وبين نماذج ذات تفاعل قوي

(نقطة السائل) . وهذا يصبح أيضاً بالنسبة الى التفاعلات النووية التي تقتضي طاقات تشورية اعلى : من ذلك ان نموذج النواة المركبة ذات التفاعلات القوية تبع نموذج بثر القوة الكامنة . وفي الاخير قدمت نماذج مختلفة تركيبة لم تكن متماكة بشكل كامل : نموذج بوهر - موتلسون للمستويات الاولى ، ونموذج بصري للتفاعلات النووية .

وبشكل عام يبدو مع ذلك ان الحقيقة هي اقرب الى النموذج ذي الجزيئات المستقلة : والنماذج الاقرب الى النموذج ذي الطبقات تعطي قيماً افضل من عزوم الجمود النووي . وعندها يكون من الضروري تفسير السبب في تهاافت الاعتراضات الاساسية ضد هذا النموذج : فالتفاعلات بين النكليونات افي النواة تبدو اضعف مما هي عليه بين النكليونات الحرة . ونظرية بروكنر Brueckner ومعاًونه (1955 - 1958) قد وضعت لتفسير خصائص « المادة النووية » إنطلاقاً من الخصائص الاساسية المعروفة عن التفاعلات بين النكليونات الحرة . وأخذت نظرية أخرى اخذاً شبه كامل حوالي سنة 1958 - 1959 عن نظرية الموصلات المتفوقة : فهي تعطي دوراً مهماً لازواج النكليونات ذات العزم الزاوي المعدوم . ويقتضي الامر بشكل خاص تبرير نماذج فرضت نفسها بشكل تجريبي اختياري .

الواقع ان نموذج « الترابط الازدواجي » الذي يستخدم التقنية الرياضية المأخوذة عن النظرية الكمية للحقول والتقنية المتعلقة « بتحول بوغوليوفوف Bogolioubov » ، هذا النموذج أتاح التوصل الى حسابات تطبيقية لمستويات النوى المتوسطة والثقيلة - حسابات لا يمكن الوصول اليها عن طريق تقنيات التشويش . وهذا النموذج أنجزته بشكل خاص مجموعة آ . بوهر وموتلسون في كوبنهاغن .

IV - التفاعلات النووية

المسرعات الاولى للجزيئات - ان اكتشاف التحولات الاولى سنة 1919 ، واكتشاف الترون سنة 1930 ، واكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي سنة 1934 قد تمت كلها باستعمال القذائف من مصادر طبيعية تعطي الجزيئات « .

ومنذ الأعمال الاولى الاختبارية والنظرية حول التحولات ، بدأ التسريع الاصطناعي مفيداً بواسطة الضغوطات العالية للجزيئات المشحونة . أولاً - كان من الممكن هكذا استعمال قذائف غير الجزيئات « ، وخاصة البروتونات التي هي جزيئات أكثر بساطة ؛ ثانياً - يجب ان تكون تزيخيمات الجزيئات الحاصلة⁽¹⁾ على هذا الشكل أكبر بكثير من التزيخيمات التي تعطيها المصادر

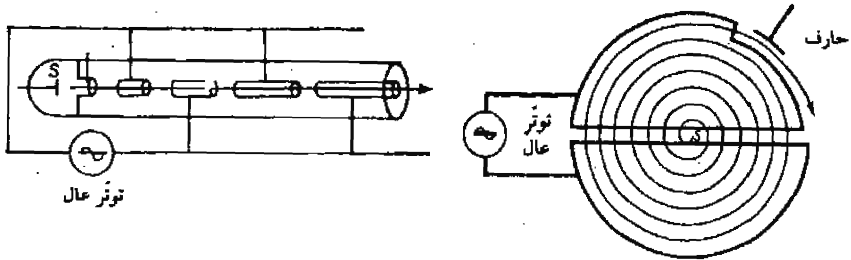
(1) تقاس هذه التزيخيمات عادة بالميكرو أمبير $1 \mu A = 6.10^{12}$ من الشحنات الأولية في الثانية . وهكذا تتوافق $0.012 \mu A$ من الجزيئات « مع عدد الأشعة « التي ينشأ مولد من عيار 1 كوري (1 غ) من الراديوم ؛ في هذه الحالة الأخيرة تكون الجزيئات مثبتة في كل الاتجاهات مما يعطل مفعولها كما لو كانت بشكل ضمة مسرع .

الطبيعية الأكثر قوة في ذلك الوقت ، ثالثاً - كان يُظنّ يومئذٍ انه بالإمكان التوصل ، بواسطة تحسين الآلات ، إلى طاقات أعلى من طاقات أشعة α الطبيعية .

وبخلال عدة سنوات أمكن تجاوز هذه الأهداف تجاوزاً فاق كل تصور . وبذلت جهود في عدة مختبرات بأن واحد . ففي سنة 1932 استطاع ج . د . كوكروفت وآ . ت . س . والتون في بريطانيا ان يحدثا لأول مرة تفلات بواسطة بروتونات مُسرَّعة حتى حدود 700 ألف إلكترون فولت .

ودرسا بشكل خاص التفاعل النووي التالي : ${}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{H}$ ؛ وكانت الجزيئتان α قد قذفتا باتجاهين متعارضين والتقطتا فوق شاشات من سلفور التوتيا ، بفضل راصدين بريان توافقهما في الزمن لأول مرة . ويتضمن المولد كوكروفت - والتون سلسلة متتالية من المثقلات المكثفة كما يتضمن أنابيب تقويم ، مما يتصبح مضاعفة التوتر عند خروجه من المحول .

وفي سنة 1928 - 1930 حصل لوريتسن Lauritsen في الولايات المتحدة على توتر عال جداً بفضل محولات رُكبت بشكل تدريجي . وفي سنة 1931 - 1932 حقق فان دي غراف مُسرَّعاً ذا كهرباء ثابتة يتيح حث كرة معدنية فارغة بواسطة حزام جلدي متحرك . وهذا النمط من المولد ما يزال مستعملاً كثيراً .



صورة 14 - مُسرَّع خطي . ان التوتر العالي مطبق بين الاسطوانات المتتالية . وطول هذه الاسطوانات يزداد كما سرعات الجزيئات .

صورة 13 - سيكلترون (جهاز لتعطيم الدرات) . تتبع الجزيئات المُسرَّعة بين القطبين الاجوفين مساراً حلزونياً ويمكن استخراجها بواسطة قطب أجوف هو الحارث . و S هو مصدر الايونات .

ولكن ثورة حقبة في هذا المجال سوف تقدمها الآلات ذات التسريع الدوري يطبق فيها التوتر العالي عدداً كبيراً من المرات المتتالية من أجل تسريع حزمة من الجزيئات بفعل دفعات متتالية من الطاقة . وعلى هذا المبدأ بنى ، في سنة 1932 ، كل من أو . لورنس وم . س . ليفينغستون Livingston في جامعة كاليفورنيا أول سيكلترون أعطى بروتونات من عيار 1.2 مليون إلكترون فولت .

وترسم الجزيئات في حقل مغناطيسي مساراً لولياً انطلاقاً من المركز : فالتوتر المُسرَّع يطبق

بين فطينين فارغين (صورة 13) ، وتأخذ الجزيئية نفس الوقت لتدور دورة كاملة في الآلة مهما كان شعاع مسارها .

وأصبح السيكلوترون بعد ذلك أحد الأجهزة الأكثر شيوعاً في الفيزياء النووية . وأدخلت عليه تعديلات متنوعة ومهمة ، وهو اليوم موجود في عدد كبير من المختبرات .

وفي ذات الحقبة تقريباً (1929 - 1934) يقع أيضاً تطوير أوائل المسرعات الخطية ، من قبل ويدرو Widerøe ، ود . هـ . سلوان Sloane وآخرين . وآلة ويدرو كانت الأولى التي استعمل فيها التسريع المضاعف بنفس التوتر الدوري . ويطبق هذا التوتر العالي بين سلسلة من الاسطوانات توضع مصفوفة بخط مستقيم لتجتازها الجزيئات (صورة 14) . ولم تكن المسرعات الأولى الخطية تنتقل إلى الأيونات الثقيلة (K^+ , Li^+ , Hg^{++}) الأطاقات ضعيفة نسبياً ، ولم تطبق في بادئ الأمر إلا تطبيقاً محدوداً .

وأدى اكتشاف الديوتيريوم (وهو نظير هيدروجيني ثقيل) - نواته هي الدوتون ، وتآلف من بروتون ومن نوترون - من قبل هـ . اوري H. Urey ومعاونيه سنة 1932 ، وبسرعة بالغة إلى استعماله كقذيفة في المسرعات .

وبدا الدوتون جزيئية فعالة جداً للتسبب بالتحويلات نتيجة ضعف طاقته الانصالية . وبعد اكتشاف التوترون وبعد أعمال فرمي بذلت جهود لانجاز مصادر نوترونات وحيدة الحركة مصطنعة باستخدام تفاعلات متنوعة نووية .

واستخدم بالتالي التفاعل $(d + d \rightarrow n + {}^3\text{He})$ ، وبعد الحرب ، بعد اختراع أهداف التريتيوم استخدم التفاعل $(Id + {}^1\text{H} \rightarrow n + {}^4\text{He})$.

وتوجّه الاهتمام أيضاً إلى تسريع الالكترونات حتى يمكن ، بشكل خاص ، استحداث كبح ضمن هدف ذي زخمات قوية من أشعة γ ، ودرس تأثيرات هذه الأشعة على النوى .

وهكذا ابتداء من 1930 - 1932 وضعت الوسائل الضرورية لدراسة مفصلة للتفاعلات النووية . وقد تحسنت هذه الوسائل بعد ذلك بدون توقف .

المظاهر العامة للتفاعلات النووية - يشكل النشاط الاشعاعي والتفاعلات النووية النمطين الرئيسيين للعمليات التي تتبع استكشاف بنية النواة ، واستخراج مختلف مميزاتها ومعرفة حركاتها الداخلية ثم الترقى إلى طبيعة القوى النووية . إن التفاعلات النووية تتبع من حيث المبدأ تحليلًا أكثر عمقاً ، إذ بعكس ما هو حال النشاط الاشعاعي ، من الممكن ، بالنسبة إلى المجرب ، ان ينوع بعض المعايير .

ان فعالية مطلق تفاعل أو انتشار ، أو بصورة ادق احتماليته ، تؤخذ من مقطعه الفعال . هذا المفهوم استخراج من النظرية الحركية للغازات ويعرّف المقطع الفعال أو المفصل بالسنتيمتر المربع مثل الاحتمالية التي يقوم عليها وقوع هذه التفاعلية عندما تقع ضمة مكونة من قذيفة واحدة ، على هدف يحتوي على نواة واحدة في السنتيمتر المربع . هذا المقطع الفعال يعبر عنه عموماً بوحدات

من عيار جزء من أصل 10^{-24} من السنتيمتر المربع تسمى بارنس Barns . ويمكن تصور هذا المقطع الفعال كصحن صغير مرتبط بالنواة الهدف عندما تكون الجزيئية النازلة دقيقة أو نقطية .

ان العلاقة التكافئية بين الكتلة في حالة السكون وبين الطاقة $E = mc^2$ (انشتين) ثم تحديد كتل النوى بواسطة مطيافية الكتلة يمكنان من تنبؤ بمقدار الطاقة في التفاعل .

فالتفاعل يمكن ان يكتب على الشكل التالي : $a + X \rightarrow Y + b + Q$ ، باعتبار ان a هي القذيفة و X هي النواة الهدف و Y هي النواة الناتجة و b هي جزيئية ثانوية صادرة من خلال التفاعل . اما Q فتمثل فائض الطاقة . واذا كانت Q ايجابية فان ذلك يعني الطاقة المحررة بفضل التفاعل ؛ واذا كانت Q سلبية فيتوجب ان تأتي الجزيئية « a » بطاقة دنيا حتى يتم التفاعل (مما يعني وجود عتبة يقف عندها التفاعل) .

ومعادلة انشتين $E = mc^2$ قد ثبتت اختبارياً من خلال قياس كميات الطاقة في التفاعلات النووية عندما تصل جزيئية - قذيفة على هدف مشكل من نواة ، فهناك عدة ظاهرات يمكن ان تحدث ، ويزاحم بعضها بعضاً :

في بادئ الامر مجرد الانتشار المطاطي - بالنسبة الى جزيئية مشحونة ، يجب التمييز أيضاً بين الانتشار المطاطي الذي يسببه الحقل الكولومبي (الكهربائي) للنواة ، وهو الانتشار النسمي انتشار روفرورد ، والانتشار المطاطي الذي يسببه تأثير القوة النووية وهو انتشار سمي في بادئ الامر الانتشار الشاذ - ؛ وبعدها هنالك الانتشار غير المطاطي وفيه تخسر الجزيئية النازلة قسماً من طاقتها ، وكذلك مختلف أنواع التفاعلات النووية المقرونة ببث جزيئية ثانوية أو عدة جزيئات . والدراسة المفصلة لانتشار ما أول لتفاعل خاص ، تقوم ، ليس فقط على قياس مقطعها الفعال بل تقوم أيضاً على قياس مقطعها الفعال التفاضلي (تبعاً لزاوية البث ، بالنسبة الى الاتجاه النازل ، والجزيئية الثانوية أو الجزيئية المبثوثة) .

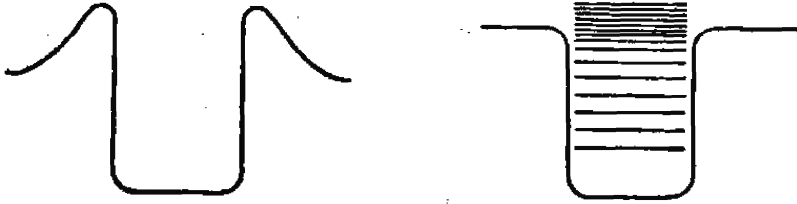
وقد تركز الاهتمام منذ البداية على إيجاد طرق عامة لتحليل نظري للانتشار وللتفاعلات النووية . في سنة 1926 كان ماكس بورن Max Born خلف نظرية الضدمات وقد أدخل تقريبية مفيدة للغاية سميت « تقريبية بورن » ؛ وتفكيك الموجات المسطحة الى موجات كروية بحسب مختلف العزوم يعرّف الفضل فيه الى فاكسن Faxen والى هولسمارك Holtsmark سنة 1927 . وانطلاقاً من هذا التاريخ تطورت طريقة تغيير المراحل وتطور مفهوم مصفوفة التصادم الذي أدخله ويلر Wheeler سنة 1937 .

في هذا الوقت حصلت أولى الاختبارات حول التفاعلات النووية وقدمت معلومات كثيرة جديدة حول خصائصها .

مختلف انماط التفاعلات النووية - ان التفاعلات الأيسر تتوافق مع بث جزيئية وحيدة ثانوية ؛ وكانت هذه التفاعلات في البداية الوحيدة التي يمكن درسها بسبب ضعف الطاقات المتاحة .

وقد اضطّر المجربون والمنظرون في بادئ الأمر إلى التمييز بين القذائف الحيادية وهي النترون والقذائف المشحونة مثل البروتونات والدوتونات والجزئيات α . ولم تلاقى النترونات أية صعوبة للدخول إلى النواة ، وهي ليست خاضعة إلا للقوى النووية الجاذبة ؛ في حين يترتب على الجزئيات المشحونة ، لكي تدخل إلى النواة ، أن تتغلب على حاجز من قوة كامنة قوامها القوى الكولومبية الدافعة .

ويكون هذا الحاجز مرتفعاً أكثر كلما كانت النواة أثقل ؛ والحاجز نفسه يظهر لمضايقة خروج الجزئية المشحونة من النواة . وهذه المسألة قد درست نظرياً بشكل خاص من قبل غامو . وإذا كانت الجزئيات قوية بما فيه الكفاية فإنها تقفز فوق الحاجز ؛ أما الجزئيات ذات الطاقة الضعيفة فإمّاها احتمال باجتياز الحاجز ، تبعاً لشفافيته .



صورة 15-

صورة 16-

بئر قوة كامنة بالنسبة إلى النترون ومستويات طاقة النواة . بئر وحاجز لقوة كامنة بالنسبة إلى البروتون .

إن التفاعلات المحثثة بواسطة النترونات قد درست بشكل خاص من قبل فرمي وأصحابه الذين اكتشفوا الفعالية للنترونات البطيئة التي يتناسب مقطعها الفعال مع $1/v$ (وتعني v سرعة النترونات النازلة) . ويمكن للنترونات ذات الطاقة الضعيفة أن تؤسر من قبل النواة الهدف أثناء التفاعل (n, γ) ، وهذا الأمر مهم بشكل خاص بالنسبة إلى بعض الطاقات المحددة بالذات الكامنة في النترون النازل ؛ وعندها تحدث اصدااء وأرجاع (وقد رصدت الحالات الأولى في التفاعلات (α, p)) ؛ ويقدم النترون للنواة عدة كميات من MeV من طاقة الاتصال ، والأصدااء تتوافق مع مستويات مرتفعة نسبياً في النواة النهائية التي تقضى بعدها ببث γ (غاما) .

هذه الأصدااء قد درست تجريبياً من قبل مون Moon وتيلمان Tillman ومن قبل الفاريز Alvarez وكثير من الباحثين . وهناك تفاعلات مهمة بواسطة النترونات هي من النمط (n, α) ، (n, p) - الضعيفة الطاقة على النوى الخفيفة فقط . ومن نمط $(n, 2n)$ إذا كان للنترون طاقة كافية . ومع الجزئيات المشحونة نحصل على تفاعلات من النمط (α, n) ، (p, n) ؛ وهناك معها أيضاً أنماط من (p, α) و (α, p) ، ومنها تافهة ذات طاقة ضعيفة بالنسبة إلى النوى الثقيلة .

وتعطي الدوتون تفاعلات مفيدة من النمط (d, p) و (d, n) . وشرح أوبنهايمر وفيليبس سنة 1935 التفاعل (d, p) بالشكل التالي : عندما يقترب الدوتون من النواة ، يطرد البروتون بالحقل الكولومبي ، والدوتون - ذو الطاقة الاتصالية الضعيفة جداً - يتفكك إلى مكونات ؛ النترون وحده

يتسرب الى النواة ، والبروتون المنحرف يتابع طريقه . ان التفاعلات (d, n) هي موارد مهمة للنترونات .

وعندما تكون طاقة الجزيئات النازلة أكبر ، تصبح تفاعلات أخرى ممكنة طاقوياً مثل التفاعلات (p, d) أو مثل بث عدة جزيئات ثانوية . وعندها تتنافس عدة تفاعلات ، فمع طاقة معينة ، يوجد عموماً تفاعل غالب ؛ ومع طاقة أعلى ، يصبح تفاعل آخر بدوره غالباً . وينزع المقطع الفعال الشامل في التفاعل ، بشكل متواصل نحو قيمة قصوى هي المقطع الجيومترى (الهندسي) للنواة الهدف πR^2 . وقد ساعدت دراسة التفاعلات النووية أيضاً على تحديد شعاع النواة ، وتحديد بعض خصائص سطحها . ويمكن تمييز شعاع الشحنات الكهربائية في النواة ، والشعاع المطابق لفعل القوى النووية . ويُفترض عموماً ما يلي : $R = rA^{1/3}$ (باعتبار A يمثل عدد النكليونات في النواة) ، و r تساوي : $(1, 2 \cdot 10^{-13})$ من السنتيمتر .

نماذج التفاعلات النووية - بخلال الـ 25 سنة الأخيرة ، تم وضع نماذج مختلفة للتعبير عن التفاعلات النووية . واستطاعت هذه النماذج تفسير قسم من الحقيقة المعقدة ؛ وهي على العموم صالحة في بعض المجالات الطاقوية أو بالنسبة الى بعض أنماط التفاعلات . ان العمليات الحقة تتوافق من غير شك ، مع مجمل المميزات التي توقعتها هذه النماذج . وحدها المعرفة الصحيحة بالقوى النووية وبخصائص المادة النووية هي التي تتيح - شرط القدرة على حل المسألة رياضياً - حساب مختلف التفاعلات النووية بشكل دقيق .

في سنة 1936 ، وضع نيلس بوهر وبريت Breit وويغرنر Wegner ، وكذلك فرنكل Frenkel وفيما بعد ويسكوف Weisskopf نموذج النواة المركبة التي تساعد على تفسير عدد كبير من التفاعلات النووية .

تتكون النواة المركبة ، عندما تكون الجزيئة النازلة في متناول القوى النووية . عندها يعتبر المقطع الفعال في تفاعل خاص $(a + X \rightarrow Y + b)$ وكأنه حصيلة ضرب المقطع الفعال في تكون النواة المركبة ، باحتمالية امكانية تفكك هذه النواة وفقاً للأسلوب (Y+b) . وهاتان المرحلتان مستقلتان احدهما عن الأخرى ، ذلك ان التفكك لا يتعلق بأسلوب التكوين ؛ في هذا الوقت تخسر النواة المركبة « ذاكرتها » عن المرحلة السابقة .

تفسر هذه الفرضية بالشكل التالي : في الطاقات التي يطبق عليها النموذج ، يكون المسار الحر الوسيط للجزيئة النازلة صغيراً تجاه ضخامة النواة ، وتلتقي الجزيئة «a» صدمات كثيرة ، وتنقسم طاقتها بسرعة بين كل النكليونات الموجودة في النواة وتفقد ذاتيتها ؛ ويمر وقت من عيار 10^{-16} ثانية ، طويل نسبياً ، اذا قيس بفترات الحركات في قلب النواة ، وذلك قبل ان تتجمع طاقة كافية فوق جزيئة «b» حتى تستطيع هذه الجزيئة ان تخرج من النواة . مثاله في الضاعل $(^{18}\text{F} + ^1\text{H})$ تتشكل نواة مركبة ^{19}Ne يمكن ان تفكك فتبث نتروناً (وتبقى النواة المتبقية ^{18}N) أو تبث جزيئة « α » (ويبقى ^{16}O) .

وكانت دراسة الارتجاعات (الاصداء) قد شكلت عنصراً مهماً في تطوير نظرية النواة المركبة . ويتوافق الرجوع (الارتجاع - الصدى) مع مستوى طاقة حائز للنواة المركبة ؛ وقد تفكك النواة عموماً وفقاً لعدة طرق ممكنة طاقوياً (طرق مفتوحة) ؛ وتتنافس هذه الطرق فيما بينها ، وكل منها مزود بنوع من الاحتمال . وهكذا أتاحت الصيغة بريت وويغرنر تفسير الارتجاعات الضيقة

الملاحظة في التفاعلات (n, γ) ذات الطاقة الضعيفة . فإذا كانت الطاقة أقوى ، تكون مستويات النواة المركبة أكثر التصاقاً وتكثفاً ، ويركب بعضها بعضاً ، لأن انفراجها يصبح أقل من عرضها . وعندها تختفي الارتجاجات ، إلا أنه من الممكن عندئذ استعمال مفهوم درجة الحرارة النووية التي تعبر عن طاقة الحث في النواة : تبخر النواة نكليونات كما تقوم قطرة من سائل مسخن بتبخير جزيئاته ؛ وإثناء عملية التبخر ، تنخفض درجة حرارة النواة .

عندما تكون الطاقات أعلى (وأحياناً بين الارتجاجات) يلتغي مفهوم المرحلة الوسيطة المركبة ، مع توزيع للطاقة النازلة ، بين كل النكليونات .

فإذا كان زمن اجتياز النواة ، من قبل النكليون النازل ، طويلاً نسبياً قياساً مع أزمدة إعادة الترتيب في النواة الهدف ، يمكن وصف عمل هذه النواة بقوة كامنة متوسطة ثم استخدام النموذج البصري الذي أدخله فشباخ (Feshbach) وسوترتر (Porter) وويسكوف (Weisskopf) سنة 1954 . وبموجب هذا النموذج ، تكون النواة مماثلة لكرة ، من البلور الشفاف ؛ ويمكن تحريف الجزيئية النازلة ، المماثلة لشعاع ضوئي ، بفعل كرة البلور أو يمكن امتصاصها . وهذا يعني أن كرة البلور لها مؤشر تحريف معقد . ويتوافق هذا المؤشر مع قوة نووية معقدة ينشأ قسمها الحقيقي عن التحريف ، أي عن الانتشار المطاوع ؛ وينشأ القسم الخيالي من القوة الكامنة عن الامتصاص ، أي عن مجمل التفاعلات النووية الممكنة .

وفي بعض أنماط التفاعلات كما هو الحال في تفاعلات التعرية (d, p) و (d, n) والتفاعلات المعاكسة تفاعلات الالتقاط (p, d) و (n, d) ، يحدث التخالط بصورة أساسية بالجوار الملاصق لسطح النواة . وقد أوجد بوتلر (1951) وهو يعالج مسألة الارتجاج والاضطراب نظرية تفاعلات التعرية (في طاقة من عشرة MeV تقريباً مثلاً) ؛ في عملية التعرية ، واحد فقط من نكليونات الدوتون يلج في النواة مقدماً نوعاً من العزم الزاوي في حين يستمر النكليون الآخر في طريقة فيعطي توزيعاً زاوياً متميزاً .

ومعارضة لنموذج النواة المركبة تسمى النماذج الشبيهة بنموذج الكرة البلورية أو نموذج نظرية بوتلر ، نماذج التفاعل المباشر . والتفاعلات النووية ذات الطاقة العالية هي أيضاً تفاعلات تداخل مباشر في مراحلها الأولى .

في حال الطاقة العالية ، يصبح المسار الحر الوسط للنكليونات أكبر من شعاع النواة وتكون النواة شفافة جزئياً بالنسبة إلى هذه النكليونات . ويصبح المقطع الفعال الشامل للتفاعل أصغر من المقطع الهندسي للنواة ، ولكنه يتوقف عن التضاؤل أمام الطاقات الكبرى جداً نتيجة إنتاج الميزونات [الميزون : دقيقة مكهربة ذات كتلة وسط بين الإلكترون والبروتون] . وقد شرحت أولية التفاعلات في حالات الطاقة المرتفعة ، من قبل سربر (Serber) بشكل خاص سنة 1947 .

في هذا المجال (حوالي 100 MeV وما فوق) تجتاز الجزيئية النازلة النواة أو تتفاعل مع أحد نكليوناتها في زمن قصير جداً (من عيار 10^{-22} من الثانية) ؛ وعندها تعتبر النواة كمجمل من النكليونات الحرة ، والتفاعل لا يتم إلا بين اثنين أو ثلاثة نكليونات . وهكذا يتم التفاعل ذو الطاقة العالية بخلل مرحلتين : في الأولى تؤدي العملية التدخلية المباشرة الحاصلة بفضل صدمات متتالية متدرجة إلى قذف بعض النكليونات ؛ وفي نهاية هذه المرحلة الأولى ، قد تصل النواة الفضلة إلى حالة من الإثارة كما لو كانت نواة مركبة ؛ وإثناء المرحلة الثانية ، الأكثر طولاً (ما

يقارب من 10^{-18} من الثانية) ، تفرغ هذه النواة المركبة فتبخر عدداً من النكليونات ، واذاً فالفاعل قد يتم عبر عدد كبير من الطرق المتنوعة . ان مجمل هذه التفاعلات المختلفة المتنافسة فيما بينها ، والمتطابقة عموماً مع بث عدد كبير من النكليونات ، قد سميت التفاعلات النشطة .

بعض الأنماط الخاصة في التفاعلات النووية - في التفاعلات المؤدية الى الانشطار ، تقدم الجزئية النازلة الى النواة كفاية من الطاقة بحيث تصبح هذه النواة - على أثر حركات الذبذبة - في حالة تشويه (غير كروية) وغير مستقرة : فتنصر القوى الكولومية الدافعة بين البروتونات ، عندئذ ، على القوى النووية الجاذبة ، فتتشر النواة إلى شطرين يتباعدان بسرعة هائلة عن بعضهما البعض . هذا التفسير وفقاً لنموذج نقطة السائل قدمه في سنة 1939 ن . بوهر Bohr وويلر Wheeler . ان هذه التفاعلات التي تحرر الكثير من الطاقة هي في أساس عمل المفاعلات والقنبلة الذرية .

وفي التفاعلات النووية الضوئية والنووية الكهربائية (التي تسببها أشعة غاما γ أو الالكترونات) ينطلق الفاعل من تداخل كهرومغناطيسي مع بروتونات النواة الهدف ، مما يؤدي الى بث نكليون أو أكثر . وقد شوهدت درجات عالية جداً . ومهمة جداً ، في تغير المقاطع الفعالة ، تبعاً للطاقة في حدود 20 MeV مهما كانت النواة الهدف ؛ وقد سميت هذه المراتب العالية « الارتجاجات العملاقة » .

في حالة الإثارة الكولومية - التي توقعها وحسبها ويسكوف Weisskopf وتر - مارتيروسيان Martirosyan - ورصدها لأول مرة هوز Huus وزوبنيسك Zupancic - يحفز نكليون مار خارج مدى القوى النووية بالقرب من نواة ما ، هذه النواة بطريقة التداخل الكهرومغناطيسي . وعندها يكون تحفيز المستويات الجماعية ناشطاً سهلاً .

وكذلك كرس جهود مهمة ، حديثاً ، للتفاعلات التي تثيرها الأيونات الثقيلة (مثل ايونات الكربون أو الأوكسجين المثقل عدة مرات) التي درست نظرياً من قبل بریت Breit وآخرين . في هذه التفاعلات ، قد تحدث تنقلات نكليونات بين النواة القذيفة والنواة الهدف ؛ وقد تشكل أيضاً نوى مركبة مشحونة بقوة بعزم زاوية مرتفعة . وهناك عمليات أخرى ممكنة مثل تشكل حالات « شبه جزيئية » ($^{12}C + ^{12}C$) .

وقد درست التفاعلات النووية ، حول النوى الخفيفة جداً (من نمط : $p + d, d + d, p + t$) بشكل خاص . من جهة ، أن هذه التفاعلات لا تستخدم الا عدداً قليلاً من النكليونات ، وإذا فهي أسهل تفسيراً ؛ فهي تستطيع ان تعطي معلومات عن وجود محتمل لقوى ذات ثلاثة أجسام . ومن جهة أخرى ان هذه التفاعلات هي في معظمها تفاعلات حرارية نووية تدويية تطلق طاقة كبيرة : وهذه التفاعلات تبدو وكأنها تلعب دوراً كبيراً في الشمس وفي النجوم وهي ذات أهمية عملية بالغة في منظور اطلاق الطاقة الحرارية النووية .

وقد اكتسبت التجارب حول مختلف التفاعلات النووية كثيراً من الوضوح في السنوات الأخيرة . وانطلاقاً من المقاطع الفعالة الحاصلة بمختلف الوسائل الاشعاعية الكيميائية ، تم التوصل إلى دراسة التوزيعات الزاوية (المقطاع الفعالة التفاضلية) بواسطة الكاشفات المتنوعة وخاصة بواسطة التلسكوبات ، والمومضات والمحللات المغناطيسية . وقد أتاح تحديد استقطاب الجزيئات المشوثة ، أي التوجه الأوسط لدورانها (أو العزم الزاوي الداخلي) تحليل بعض التفاعلات بتفصيل أكبر .

تطور المسرعات الكبيرة - ان تزايد حجم المفاعلات وهي السيكلوترونات الكلاسيكية ، حد منه تزايد الكتلة بتزايد سرعة الجزيئات المسرعة ، وفقاً لمبادئ النظرية النسبية . وكان الحد بالنسبة الى البروتونات ، في حدود (15 MeV) ؛ وكذلك توجب العثور على مبدأ جديد للصعود إلى طاقات أعلى . في سنة 1945 اقترح بصورة مستقلة كل من آ . م . مكملان Mc Millan في الولايات المتحدة وف . ج . فكلسر Veksler في الاتحاد السوفياتي مبدأ ثبوتية المرحلة لكي تُنجز مسرعات دائرية ذات طاقة عالية . وعلى هذا الأساس الذي يمكن من إبقاء الجزيئات على الخط مع التواتر العالي المُسرَّع خلال عدد غير محدود من الدورات ، تم صنع نمطين جديدين من الآلات السنكروترون والسنكروترون .

وقد أتاح السنكروترون تسريع بروتونات (أو غيرها من الجزيئات الثقيلة) إلى حدود بضع مئات من MeV . وترسم الجزيئات مساراً لولياً ؛ اما التواتر العالي فيضبط : فهو يتناقص كلما ازدادت طاقة الجزيئات وكتلتها النسبية . ويبقى الحقل المغناطيسي ثابتاً . وقد تم تشغيل أول سنكروترون في سنة 1946 في بركلي في الولايات المتحدة ، وتم تشغيل أول سنكروترون في الاتحاد السوفياتي سنة 1949 في دونا . وقد تم حديثاً بناء سيكلوترونات مراقبة فيها يتغير الحقل المغناطيسي على طول شعاع كما يتغير سمياً أي علواً . وتعطي هذه الآلات رزماً من الجزيئات ذات كثافة قوية . في السنكروترون ذي الالكترونات (وأول جهاز من هذا النمط شغل سنة 1946) اكتسبت الالكترونات بسرعة قصوى (حوالي 4 MeV) سرعة ثابتة تساوي عملياً سرعة الضوء : وابتداءً من هنا تحت الالكترونات بضغط مرتفع التواتر وثابت فترسم مساراً ذا شعاع ثابت في حقل مغناطيسي يزداد كلما ارتفعت طاقة الالكترونات . وتوضع المغناطيسيات بشكل حلقة على طول المسار . وتبنى اليوم سنكروترونات ذات الكرونات حتى حدود 7 GeV . والصعوبات في التحقيق والانجاز تنشأ عن الخسائر الكبيرة في الطاقة نتيجة الاشعاع والتي تصيب الالكترونات في حركتها الدائرية . وتسرع السنكروترونات كما السنكروترونات جزيئات بفضل النبضات المتتالية . وتجري محاولات أيضاً للحصول على زخمات مرتفعة . وقد حل السنكروترون ذو الالكترونات ، في حالات الطاقة المرتفعة محل البيتاترون الذي صنعه كرسـت Kerst سنة 1941 . ويتكون البيتاترون المُسرَّع من مغناطيس كهربائي مملوء القلب يعمل كمجول : وتسرع الالكترونات بالحث بفعل حقل مغناطيسي يتغير بسرعة عبر الزمن .

وطورت أيضاً المسرعات الخطية تطوراً كبيراً منذ الحرب [العالمية الثانية] وبصورة خاصة بفضل جهود الفاريز وهانسن ، وبانوفسكي Panofsky وآخرين .

وأصبحت هذه الانجازات ممكنة باكتشاف مبدأ استقرار المرحلة ، وبفضل تطوير تقنيات الرادار بخلال الحرب الأخيرة . وقد تم صنع مسرعات خطية ذات بروتونات وايونات ثقيلة ذات زخم قوي . واعظم الآلات الخطية هي مسرعات الكرونية فيها تستطيع الالكترونات ان تبلغ طاقات كبيرة جداً ، مع زخمات مرتفعة جداً : وتتاح القوة اللازمة بفضل سلسلة من الكليسترونات

تعمل بحدود ثلاثة آلاف ميغاسيكل . ويعطي المسرع الخطي في ستانفورد (كاليفورنيا) ضمة من الالكترونات من عيار $Me V 900$. في اروسي (فرنسا) تتيح آلة من نفس النمط الحصول على الكترونات من عيار $(1 Ge V)$ ؛ وتصل إلى $(1,3 Ge V)$. وفي ستانفورد هناك مشروع مسرع خطي ثانٍ طوله ميلين $(3,2 Km)$: ويفترض به ان ينتج ما بين 10 إلى $20 Ge V$.

وفي السباق الى الكترونات ذات طاقة عالية بدأ سريعاً ان السنكروترونات ذات أكثر من مليار من الالكترونات - فولت تقتضي أثقالاً من المغناطيس وأسعاراً باهظة . وبدت الحاجة ملحة إلى جهاز من نمط جديد . وفي سنة 1943 اقترح أوليفانت Oliphant بناء مسرع له شكل حلقة ، فيه يتم تسريع البروتونات تحت تأثير شعاع ثابت مع التناوب في تغيير الحقل المغناطيسي وفي تواتر الضغط المطبق .

وبعد الحرب ، أتاح مبدأ استقرار « المرحلة » تطبيق هذا المشروع الذي وضعه أوليفانت . ونفذ أول سنكروترون ذي بروتونات في برمنغهام . وكانت البروتونات تقذف داخل الحلقة بواسطة مسرع ذي طاقة أخف (خطي أو مسرع فان دي غراف Van de Graaff مثلاً) . وبنيت على التوالي كوسموترون Cosmotron بروكهافن ، وبيفاترون بركلي bevatron ، وسكروفازوترون (Synchrophasotron) في دونا وساتورن Saturne في ساكلي . انها جميعاً سنكروترونات للبروتونات .

في سنة 1952 بينت أعمال كورانت Courant وليفينغستون Livingston وسنيدر Snyder وأعمال كريستوفيلوس Christofilos ، إمكانية تحقيق سنكروترون ذي بروتونات ذات تبدل في الجهد في حقل مغناطيسي متناوب وذو تصويب قوي .

وأتاح هذا المبدأ المفيد بشكل خاص تخفيف أحجام غرفة التسريع والمغناطيسيات . وهو يطبق في أعظم المسرعات العاملة حالياً : ان السنكروترون C. E. R. N في جنيف ، الذي شُغِّلَ في نهاية سنة 1959 ، يعطي للبروتونات طاقة من عيار $(28,5 Ge V)$ ؛ اما الزخم فهو من عيار 2.10^{11} بروتوناً كل ثلاث ثوان . والسنكروترون العظيم في بروكهافن بدأ ينتج بروتونات من عيار $(30 Ge V)$ سنة 1960 . وفي العديد من السنكروترونات التي تبنى في الوقت الحاضر ، يبذل جهد للحصول ، بأن واحد ، على طاقات كبرى وعلى زخمات كبرى .

ولتحقيق طاقات أعلى بكثير من الطاقات الحاصلة حتى الآن ، في نظام مركز الكتلة ، وضعت علم مختبرات قيد التنفيذ حلقات تصادم بين الالكترونات . ويوجد أيضاً مشروع حلقات تصادم بين البروتونات (C. E. R. N) .

وهكذا وبأقل من خمسة عشر عاماً تضاعفت طاقة سرعات الجزيئات بمقدار ألفي ضعف . وقد بعدت المسافة اليوم عن الجهاز الصغير الذي كان في المختبر المبني بواسطة وسائل متواضعة والتي تكلم عنها لورنس سنة 1932 .

1 - سنكروترونات ذات بروتونات

الموقع	طاقة قصوى GeV	شعاع وسط بالأمتار	سنة التشغيل
المختبر الوطني في بروكهافن الولايات المتحدة الأمريكية	30	128.5 ⁽¹⁾	1960
C.E.R.N جنيف	28.5	100 ⁽¹⁾	1959
المعهد الموحد ، هربا (الاتحاد السوفياتي) ، سانكرولازوترون	10.0	30.5	1957
جامعة كاليفورنيا بركلي (الولايات ...) ييفاترون	6.2	19.2	1954
المختبر الوطني في بروكهافن (الولايات ...) كوسموترون	3.0	9.1	1952
CEA و CERN ، ساكلي ، فرنسا	3.0	11.0	1958
جامعة برمنغهام بريطانيا	1.0	5	1953
قيد البناء :			
جامعة كنتبرا استراليا	10.6		
ضواحي موسكو (الاتحاد السوفياتي)	70.0	(1)	
ضواحي موسكو (الاتحاد السوفياتي)	7	(1)	
مختبرات روفورود هارول (بريطانيا)	7		
المختبر الوطني في لارغون (الولايات المتحدة)	12.5		
مختبر برنستون بنسلفانيا ، برنستون (الولايات المتحدة)	3	زخم عال	
الجامعة التقنية دلفت (هولندا)	1		

بنيت المسرعات الأولى بعد الحرب من أجل درس التفاعلات النووية ، وبنية النواة ذات الطاقة الكبرى . وبعد اكتشاف ميزونين خيطيين π و μ في الاشعاع الكوني سنة 1946 ، جرت محاولة لوضع هاتين الجزئيتين اصطناعياً . وكانت الميزونات الاصطناعية الأولى قد لاحظها غاردنر Gardner ولايس Lattès في بركلي سنة 1948 . وأمكن بعدها ، وبواسطة المسرعات ، انتاج الجزئيات الأخرى غير المستقرة التي اكتشفت تبعاً من الاشعاع الكوني ، ثم اكتشاف جديد منها ، ودراسة تفاعلاتها ، وأساليب تفككها .

وقد غيرت هذه الآلات ، في قليل من الوقت وبعمق ، أساليب العمل في الفيزياء النووية . إن بناء هذه المسرعات يتطلب اعتمادات ضخمة تقتضي في بعض الأحيان قرارات على المستوى الحكومي ؛ وهي تسير على موازاة تطور سلسلة من الفروع الصناعية . وقد تركزت هذه الوسائل الضخمة في عدد محدود نسبياً من المراكز الكبرى للبحوث ، حيث يعمل جنباً إلى جنب فيزيائيون ، ورياضيون ، وكيميائيون ، ومهندسون ، يساعدهم عدد كبير من التقنيين والعمال .

وأصبحت التجارب عموماً من صنع مجموعات عمل كبيرة . وبذات الوقت تزايدت عملية التخصص وبناء عليه أصبحت الفيزياء النووية التجريبية والفيزياء النووية النظرية مهنتين منفصلتين . فضلاً عن ذلك قضى تطور المراكز الكبرى للبحوث بوجوب التعاون الدولي . وقد زاد هذا التعاون لحسن الحظ في السنوات الأخيرة .

(1) تبدل الجهد تناوبياً ، تصويب قوي .

II - السنكروترونات الرئيسية

الموقع	طاقة بـ (MeV)	(قطر القطع القطبية بالمتر)	سنة التشغيل
جامعة كاليفورنيا بركلي (الولايات المتحدة الاميركية)	330 روف إلى 730	4.7	دوتون وألفا سنة 1946
	—		بروتون سنة 1949
			1957
المعهد الموحد ، دويتا (الاتحاد السوفياتي)	680	6.0	دوتون وألفا (α) سنة 1957
			بروتون سنة 1953
جنيف CERN	600	5.0	1958
جامعة شيكاغو (الولايات ...)	460	4.3	1951
جامعة كولومبيا (الولايات ...) نيويورك	385	4.2	1950
جامعة ليفرول (بريطانيا)	410	4.0	1954
مهد تكتولوجيا كازيني-ينسبرج (الفلايت ...)	440	3.6	1951
جامعة روشستر (الولايات ...)	240	3.3	1948
هارول Harwell (A.E.R.E) (بريطانيا)	175	2.8	1949
جامعة اويسالا (السويد)	185	2.3	1951
جامعة هارتد ، كمبريدج (الولايات ...)	159	2.4	1949
جامعة العلوم ابروسي (فرنسا)	157	2.8	1958
جامعة ملك جيل مونتربال (كندا)	100	2.1	1949
قيد البناء :			
مختبر اوك ريدج (الولايات المتحدة)	800		
(سنكلوترون مواقت فوزغم شديد)			

صورة 17 - جدول بالمرعات العظمى ذات البروتونات

V - الأشعة الكونية والجزيئات الأولية

ان تاريخ الفيزياء النووية ذات الطاقات الكبرى والجزيئات الأولية مترابط بشكل وثيق ، على الأقل في بداياته ، بتاريخ الأشعة الكونية . ان هذا الاشعاع ، قد اكتشف في مطلع القرن العشرين وشكل لمدة طويلة المصدر الوحيد للجزيئات ذات الطاقة العظمى الضرورية للدرس العميق لخصائص المادة ومكوناتها . الا انه بعد ظهور المسرعات الكبرى للجزيئات ، انفصلت فيزياء الطاقات العالية بصورة تدريجية عن الأشعة الكونية ، واستقلت ، وارتدت طابعاً شبه صناعي .

فعلماء الكون تركوا الفيزيائيين في « محطمت الذرة » وذهبوا مزودين بالصواريخ وبالاقمار الصناعية لينضموا الى معسكر الفيزيائيين الفلكيين . وأصبحت الأشعة الكونية ، التي أتاحت فتح

مجال المتناهي الصغر ، والتي كشفت عن وجود جزئيات ذات طاقة ما تزال لا مثيل لها ، أداة قوية لدراسة الكون وتاريخه .

الاكتشاف الأول للأشعة الكونية - في سنة 1900 ، لاحظ فيزيائيون يقومون بأبحاث حول التوصيلية الكهربائية في الغازات ان الكشف (الالكتروسكوب) يفرغ من شحنته ببطء وأنيأ كما لو كان يجتاز شمع ضعيف الزخم . وطرح ش . ت . ر . ويلسون فرضية قوامها وجود أصل خارج الأرض لهذا الاشعاع الغامض ، إلا أنه لم يستطع تقديم الدليل عليه . وعزى هذا التفرغ المفاجيء إلى تأثير النشاط الاشعاعي في القشرة الأرضية .

في سنة 1910 ، حمل غوكل مكشافاً كهربائياً في بالون ارتفع إلى علو 400 م ، دون ان يلاحظ نقصاً في زخم الاشعاع الطفيلي . في سنة 1912 قام هس Hess بسلسلة من التحقيقات في البالون حتى علو 500 م ، وبين ان زخم الاشعاع يزداد مع الارتفاع ، وقد تأييدت النتائج التي تحصلت له بأعمال كولهورستر Kolhörster ، الذي قام ، بين 1914 و 1919 ولعدة مرات ، بتحقيقات حتى حدود 9000 م . عند هذا الارتفاع لاحظ وجود تآيين طفيلي أعلى بعشر مرات من التآيين المرصود عند سطح البحر ، والتشعيع بدا هكذا أكثر نفاذاً من أشعة γ (غاما) الأكثر قوة .

وأثارت هذه النتائج العديد من المناقشات ، الا أن المنشأ خارج الأرضي للأشعاع الجديد ، الذي استشره ويلسون وتأكد منه هس ، لم يقبل من الجميع الا ابتداء من سنة 1926 . وأطلق عليه الاشعاع الكوني ، أو الأشعة الفوقية غاما γ .

في سنة 1927 ، اكتشف الفيزيائي الهولندي كلاي Clay ، بخلال رحلة من أمستردام إلى باتافيا ، مفعول الارتفاع : ان زخم الاشعاع الكوني يتناقص انطلاقاً من القطب إلى خط الاستواء المغناطيسي .

هذا التغير تبعاً للارتفاع قد وضحته أعمال الفيزيائيين المختلفين ، وبصورة خاصة كومبتون Compton وميليكان Millikan ومعاونيهما . وتوجب عندها مراجعة الأفكار الأولى حول طبيعة الأشعة الكونية . وفسر أثر الارتفاع وكأنه من فعل الحقل المغناطيسي الأرضي على أوليات (Primaires) مشحونة افترضت انها الكثرونات .

ومهما كانت طبيعته ، فالاشعاع الكوني يجب ان يتغير بعمق حين يجتاز الفضاء الأرضي وقد اكتشف ، في الاشعاع الثانوي ، عند مستوى البحر ، وجود مكونين : مكون طري ، توقفه سماكة 10. مستم من الرصاص ، ومكون قاسٍ لا ينقص الا بمقدار النصف عند اجتيازه حاجزاً من الرصاص بسماكة متر واحد .

في سنة 1927 ، استخدم سكوبلزين Skobelzyn غرفة ويلسون واستطاع تصوير بقايا الجزئيات المشحونة بالاشعاع الثانوي ، وهكذا لاحظ وجود جزئيات متشاركة ، تشكل ما سمي بالحزمات ، وحدد نبض الجزئيات بقياس المنحنى الذي ترسمه بقاياها في حقل مغناطيسي . ولاحظ هوفمان Hoffman الحزمات أيضاً في غرفة تآيين ، حيث بدت من خلال تغيير مفاجيء لتيار

التأين (التفجرات bursts) .

في سنة 1932 استخدم بلاكت Blackett واوكشياليني نظام مصادفات لاستحداث غرفة ويلسون . يمثل هذا النظام من العدادات ، درس روسي سنة 1932 تطور الرزم المسماة الرزم المتدرجة . ولاحظ ان عدد الجزئيات المسجلة تحت جسم ماص من الرصاص مثلاً ، يزداد بزيادة سماكة الماص أولاً ، ثم يتناقص فيما بعد (مفعول الانتقال) واذن فالماص يحدث ، عند السماكة المناسبة ، تكاثراً في الجزئيات .

وتم العثور على مفتاح الظاهرة ، في ذات السنة ، عندما اكتشف اندرسون الالكترون الإيجابي ، المتوقع قبل مستين بفعل نظرية ديراك Dirac . ولاحظ بلاكت واوكشياليني وجود الكترونات إيجابية بين جزئيات الرزم ، وطرحا الفرضية القائلة بأن هذه الالكترونات الإيجابية تولد مزدوجة مع الالكترونات السلبية ، عندما يتم امتصاص فوتون بجوار نواة (انظر الفقرة II) . وهكذا يمكن تفسير ظاهرة الرزم المتدرجة ، أو الرزم الكهرضوية .

ان الالكترون ذا الطاقة الكبيرة جداً ، المكبوح بعنف في الحقل الكهربائي الزاخم داخل نواة ، يشع قسماً من طاقته فيصدر فوتوناً . ويمكن للفوتون ، بجوار نواة ، ان يتجسد في زوج مؤلف من الكترون إيجابي والكترون سلمي . وكل واحد من هذه الالكترونات يمكنه بدوئه ان ييث فوتون كبح يتجسد فيما بعد . وهكذا تفهم عملية تكاثر الجزئيات ، عند اجتياز جسم ثقيل . عنده تتوزع الطاقة الأساسية بين عدد كبير جداً من الجزئيات فان هذه تصبح عاجزة عن التكاثر ، والرزمة تذوب بفعل الامتصاص .

وضعت نظرية هذه الحزمات في سنة 1934 من قبل بيث Bethe وهايتلر (Heitler) . ولكنها لم تنبئ عن سلوك المكون الصلب الذي كان موجوداً في أعماق سحيقة تحت الأرض . كانت هناك حلقة مفقودة ، لم تكتشف الا فيما بعد .

ان الرزمات الكهرضوية قد تطورت أيضاً في الفضاء : انها حزمات الفضاء الكبرى أو حزمات أوجيه Auger التي اكتشفت سنة 1938 من قبل ب . أوجيه ومعاونيه . ان الجزئيات المقرونة بهذه الرزم أو الحزمات تضرب بأن واحد سطوح عدة مئات من الأمطار المربعة . وهي تتيح اكتشاف الجزئيات الأكثر قوة في الاشعاع الأولي .

الاشعاع الكوني الأولي - وبذات الوقت تتابعت دراسة الأشعة الأولية ، وبصورة خاصة المفاعيل المغناطيسية الأرضية géomagnétiques . ويعد أثر الموقع ، تم سنة 1933 اكتشاف المفعول شرق - غرب ، أي زيادة الجزئيات آتية من الغرب . وقادت نظرية مسارات الجزئيات المشحونة في الحقل المغناطيسي الأرضي فالارثا Vallarta ، سنة 1938 ، إلى الاستنتاج أن المفاعيل الأرضية المغناطيسية تدل على سيطرة الأوليات الإيجابية . ويعد التجارب في الارتفاع العالي ، الجارية في بالونات فضائية عالية (Stratosphériques) ، أكد شاين Schein سنة 1940 ان الأوليات هي في الأساس بروتونات .

وتكون شدة البروتونات الأولية ضعيفة بمقدار ما تعظم طاقتها (E) . وهي تتغير تقريباً بمثل

$E=2.7$ ويوجد لهذه الطاقة حد أدنى (الانقطاع الأرض مغناطيسي) الذي مورهن بالارتفاع وزاوية مسار الجزيئات مع الخط شرق - غرب : وهي تقريباً (2.19°eV) في باريس ، وتتراوح بين 10 و 60 مليار الكترون فولت (V) عند خط الاستواء . ان تيار البروتونات الأولية يعادل تقريباً جزيئة بالاستيمتر المربع وبالثانية عند ارتفاع باريس . اما توزيعها فهو موحد خارج الفضاء الأرضي .

وبعد الحرب سار اكتشاف الاشعاع الأولي في أعالي الفضاء بنشاط كبير بفضل البالونات السابرة وبفضل الصواريخ من نمط (V_2) . وفي مختلف بلدان العالم ، ارسلت مجموعات من الفيزيائيين إلى الأعالي جهازاً خفيفاً ، وبصورة خاصة لدائن حساسة (فوتوغرافية) للتصوير ذات جزيئات مشحونة [بالكهرباء] . وأدى التفحص المجهرى (الميكروسكوبي) لهذه اللدائن ، بعد تحميمها ، إلى اكتشاف العديد من المسارات الدقيقة جداً ، المتجسدة بجسيمات من الفضّة . في سنة 1948 ، أعادت صفيحة فوتوغرافية عرضت على ارتفاع 30 كلم إلى الأرض ظاهرة جديدة : أثراً كثيفاً إلى درجة إمكانية رؤيته بالعين المجردة ! وهكذا أمكن اكتشاف وجود نوى عناصر متنوعة ، وهليوم ، حتى الحديد ، وحتى أبعد من ذلك وكلها عارية من الكتروناتها ، إلى جانب البروتونات الأولية . هذه النوى تتفكك سريعاً عند ملاسة الفضاء وهذا ما يفسر عدم العثور عليها بصورة أبكر .

وبعدها تم تحديد نسبة مختلف النوى الأولية (التالين ، من هنا كثافة الاثر البادي في اللدائن ، وهذا التالين يتناسب مع مربع شحنة النواة) وهذه النسبة بدت مشابهة بالنسبة في عناصر الكون مما اعطى أهمية جديدة لمسألة الاشعة الكونية .

لان مسألة المنشأ التي طرحت منذ اكتشاف الاشعة الكونية ما تزال غير محلولة . ووجه الصعوبة فيها يتأتى بشكل خاص من وجود اوليات طاقة بالغة الارتفاع . وحديثاً عثر بفضل رزم أوجيه ان الاشعة الكونية تولد في الفضاء بروتونات ذات طاقة من عيار 10^{18}eV اي 16, 0 جول . في بادىء الامر ساد الظن ان الاشعة الكونية تتولد عن الشمس وان الحقل المغناطيسي الأرضي يفسر وحدة خواصها في أعالي الفضاء . وفي الواقع يلاحظ وجود ترابط بين شدة الاوليات ذات الطاقة المنخفضة وبين النشاط الشمسي . ولكن الشمس لا تعتبر مسؤولة عن ولادة الجزيئات ذات الطاقة المرتفعة جداً .

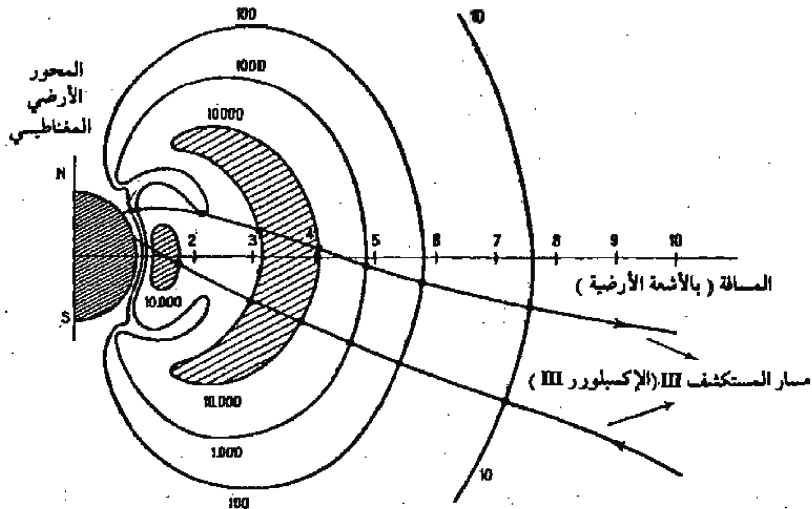
وهذا ما حمل العلماء على القول بفرضية المنشأ المجري للاشعة الكونية ، فهذه الاشعة تنبثق بكل طاقتها بفعل الحقول المغناطيسية الموجودة بين الكواكب . وتشبه هذه النظرية التي وسعها فرمي سنة 1949 طريق المجرة في سمائها بمسرع ضخم جداً للجزيئات . وثابت علماء فيزياء الفلك بواسطة قياسات كثافة الضوء المبعوث من الكواكب وجود مثل هذه الحقول المغناطيسية (من عيار يتراوح بين 10^{-5} حتى 10^{-6} من الغوسسات gauss) . وتدور مسارات الجزيئات حول خطوط قوة في الحقل مما يبقئها في المجرة ويعطيها توزيعاً موحداً .

ولكن أمكن تبين ان الاوليات ذات الطاقة العليا التي تقارب 10^{17}eV المنبثقة عن الكواكب البعيدة ليست منحنية بشكل كافٍ وتهرب من المجرة ، ما لم تكن مبعثة وفقاً للسطح الاستوائي

للمجرة . ويتوجب اذاً تقرب انشطار في طيف الطاقة وتربأثر توجيهي لأوليئات الطاقة التي تزيد على 10^{17} eV .

واجريت تجارب ضخمة معظمها في الولايات المتحدة والاتحاد السوفياتي وفيها وزعت كشافات الجزيئات في مساحة اتساعها كيلومتر مربع . واستخرجت طاقة الشعاع الكوني الاول من بنية حزمة أوجيه التي احدثها هذا الشعاع ، واستنتج اتجاه من فرق الوقت بين مجيء جزيئات متعارضة تماماً . وحتى الآن لم يلاحظ وجود تغير مفاجيء في طيف الطاقة ، ولا بث امتيازي بجوار الخط الوسط من طريق المجرة . هل يتوجب إذن الافتراض ان مجرتنا تحيط بها « هالة » مغناطيسية دائرية ؟ أو أن الأشعة الكونية تأتي من مكان أبعد بفضل وجود حقول مغناطيسية في الفضاء الواقع بين المجرات ؟ لا يمكن الآن الاجابة عن هذه الاسئلة المتحدية .

منذ 1957 جاءت الاقمار الصناعية والصواريخ الكونية تزيد من وسائل الاستقصاء بين يدي علماء الكون وحتى سنة 1953 بدا ثابتاً ان شدة التشعيع الكوني تزداد انطلاقاً من الارض حتى ارتفاع 20 كيلومتراً تقريباً ثم تنخفض حتى 40 كيلومتراً ، وبعدها تبقى ثابتة فيما وراء الفضاء الأرضي . ومنذ سنة 1953 اثبت الفيزيائي ج . آ . فان آلن Van Allen ومعاونوه بفضل صواريخ اطلقت من بالونات ، تزايداً في شدة الاشعاع ذي الطاقة الضعيفة في المسافات التي تبعد حوالي مئة كيلومتر عن الارض . ولكن الفضل النصفي في الكوكب الصناعي الاميركي إكسبلورر III سنة 1958 هو الذي ادى الى الاكتشاف المهم لاحزمة الاشعاعات . فقد أدى التيسير المشوه لنظام التوجيه الى اعطاء هذا القمر الصناعي مداراً طويلاً جداً مما اتاح استكشافاً كاملاً للفضاء الخارجي حتى حدود تزيد على 3 آلاف كيلومتر ارتفاعاً .



صورة 18- أحزمة الاشعاع الأرضي (ج . فان آلن ، 1959).

وقيمت هذه النتائج ووسعت بفضل الصواريخ الكونية السوفياتية وبفضل الكشافات الأميركية . وعرف بعد هذه التجارب الشهيرة ان الأرض محاطة بحزامين من الاشعاع .

فالمنطقة الداخلية ضيقة نسبياً وتبعد حوالي 3600 كيلومتر عن كوكبنا على خط الاستواء الأرض مغناطيسي . اما المنطقة الخارجية فتبدو اقرب ان تكون غلافاً مقطعه بشكل هلال وسماكته القصوى بمقدار شعاع الأرض ، ويقع على بعد وسطي قدره 16 ألف كيلومتر فوق خط الاستواء الأرض مغناطيسي ، وهو يغطي كامل الأرض ما عدا في منطقة القطبين . في هاتين المنطقتين تتجول الالكترونات من عدة مئات من الكيلو إلكترون فولت (Kev) (القدرة عند ملازمة غطاء صاروخ ، ان تخلق اشعة سينية في منتهى الصلابة) ، وبيرونات ذات طاقة تعادل عشرات الميغا إلكترون فولت (Mev) . اما معدل التشعيع فهو أكثر من مليون مرة اعلى من معدل الشعاع الكوني ، وهو يتجاوز الى حد بعيد المستوى المحمول .

(من الميزون μ الى الميزون π) أو من الاشعة الكونية الى سرعات الجزيئات - قبل الحرب العالمية الثانية بسنوات بدا الكون الفيزيائي وكأنه مبني من عدد محدد من المكونات الاولى . الا انه في سنة 1935 تنبأ المنظر الياباني هـ . يوكاوا Yukawa بوجود جزيئة جديدة هي الميزون (اي المتوسط) .

ان البيرونات والترونات في النواة مربوطة فيما بينها بقوة من نوع خاص تسمى القوة النووية . وكما ان التفاعل بين شحنتين كهربائيتين يفسر في الميكانيك الكمي كتبادل في الفوتون ، كذلك التفاعل بين نكليوسين ، يجب ان يفسر بتبادل في جزيئة أخرى هي كم الحقل النووي . ولكن طبيعة القوة النووية المتميزة بشعاع محدود الاثر تعطي كتلة لهذه الجزيئة . واحتسب يوكاوا ان هذه الكتلة يجب أن تعادل مئتي ضعف كتلة الالكترتون . وتنبأ أيضاً أن الجزيئة الجديدة غير مستقرة وأنها تفكك بعد حياة من 10^{-7} من الثانية ، بعد بث الكترون واحد ونترينو .

وبذات الحقة شعر علماء الكون بمعجزهم عن تفسير قدرة النفاذ التي للمكونة الصلبة ، بواسطة الجزيئات المعروفة ، فاستشعروا الحاجة الى وجود جزيئة جديدة . ولكن لكي تكون جزيئة يوكاوا موجودة خارج نطاق الحساب ، كان لا بد من ان يكون التفاعل بين النكليونات في منتهى العنف ، كما يحدث في الاشعاع الكوني . وبالفعل لاحظ اندرسون سنة 1938 في غرفة ويلسون مسار جزيئة تساوي كتلتها ما يقارب من مئتي ضعف كتلة الالكترتون . وفي سنة 1940 ودائماً في غرفة ويلسون حصل وليامس Williams وروبرت Robert على أول كليشييه تبين تفكك الميزون الكوني الى الكترونات .

ويدا كل شيء محلولاً وبدا عالم الفيزياء منظماً تنظيمياً كاملاً . ولكن ذلك لم يكن الا بداية سلسلة طويل من المصاعب التي أخذت تتزايد وما تزال ، وخلال بضع سنوات سوف يرى الفيزيائيون ، بصورة تدريجية الوفاق الجميل بين النظرية والتطبيق ينهار .

فكتلة الميزون M_π الكوني وقد حُدثت بدقة أكبر ، بدت تفوق 200 me ، في حين ان

الكتلة النظرية ، المحسوبة وفقاً للمعطيات الجديدة التجريبية التي اخذت عن القوى النووية ، كانت تزيد حتى حدود 300 me . اما حياتها الوسطى ، حوالى $2 \cdot 10^{-6}$ ثانية ، فكانت اكبر بعشر مرات من القيمة التي حسبها يوكاوا .

واخيراً في سنة 1946 توصل كونفرسي Conversi ، وبانسيني Pancini وبيشوني Piccioni الى غربة مغناطيسية للميزونات الايجابية والسلبية لدراسة تفاعلاتها مع المادة . وانتهوا الى مفارقة : فهذه الجزئية التي اوجدت ، تفضلاً ، في التفاعلات النووية ذات الطاقة الكبيرة ، تتفاعل تفاعلاً ضعيفاً جداً مع المادة .

وكان لا بد من التسليم : فالميزون الكوني لم يكن الجزئية التي قال بها يوكاوا . في سنة 1947 بدأ تطور سريع جداً في الفيزياء ذات الطاقات العليا ، وظهر كثيف مزدهر للجسيمات الجديدة . فقد توصل الفيزيائيون وبخاصة جماعة مختبر بريستول ، الى وضع تقنية جديدة في مرتبة الشرف ، هي تقنية التقاط الاشعاعات بواسطة الصفائح الفوتوغرافية . ولكن الامر معلق اليوم بلدائن اكثر حساسية بكثير ، ذات سماكة من بضعة اعشار المليمتر . وادى تفحصها مجهرياً الى اكتشاف آثار تختلف دقتها تعود الى جزئيات مشحونة . ويظهر انفجار نواة تحت تأثير صدمة جزئية سريعة ، بشكل عدد كبير من الآثار المنطلقة من نفس النقطة ، وسميت هذه الظاهرة « النجمة » .

في سنة 1947 شاهدت مساعدة في جامعة بريستول ، فوق صفيحة فوتوغرافية ، عرضت في الجبل ، ظاهرة غريبة لم تعرف كيف تفسرها . فهناك اثر يمتد متكسراً فوق اللدنة مما يدل على وجود جزئية تتباطأ بفعل تأيين ذرات المكان المقطوع . وينطلق من نقطة النهاية اثر اقل ينتهي هو بدوره بعد اجتياز مسافة تقارب 600 ميكرون . بعد ذلك بقليل استطاع لاتييس Lattes واوكشياليني وباول Powell ان يعللوا عن وجود ميزونين مختلفين : ميزون يسمى π ، يولد من التفاعلات النووية كما تنبأ به يوكاوا ، ويتفكك الى ميزون ثانوي μ الذي لم يكن إلا الميزون الكوني .

وسرعان ما تبين ان مخطط تفكك الميزون π يتم كما يلي : ميزون $\pi \rightarrow \mu + \text{نترينو}$.

وبدت دراسة تفكك μ اصعب . وتوصل بونتكورفو Pontecorvo الى وضع التفاعل : ميزون $\mu \rightarrow \text{الكتران} + 2 \text{ نترينو}$.

وفي سنة 1948 اخذت المسرعات تدخل المجال المخصص للاشعاع الكوني . حتى ذلك الحين كانت السيكلوترونات تنتج فقط دراسة التفاعلات النووية ذات الطاقة المنخفضة . في سنة 1948 ، اوجد سنكرو سيكلوترون بركلي ذو الـ 184 بوصة ، والذي يزن مغناطيسه 4000 طن ، الميزونات π الاولى الاصطناعية . وفي نفس الحقبة تقريباً ، تم في موسكو بناء جهاز من نفس النمط . واصبح بالامكان التجريب على الميزونات باستعمال الحزم ذات الزخم المحدثة بواسطة السنكرو سيكلوترون . وامكن تحديد الكتلة والحياة المتوسطة ، والدوران أو الغزل . وتالت دراسة تفاعلات الميزونات π حتى وقتنا الحاضر ، في مختلف المختبرات في العالم ، مجهزة بمسرعات (الولايات المتحدة ، الاتحاد السوفياتي ، بريطانيا ، فرنسا ، و C.E.R.N) .

في سنة 1948 كانت معروفة فقط الميزونات π و μ السلبية والايجابية . ولكن الحاجة الى ميزون حيادي بدت ملحة لتفسير التفاعلات بين نوترونين وپروتونين . في سنة 1950 ، اثبت فيزيائيو بركلي وجود ميزون π^0 ، وهو جزيئية عارضة تنفك بسرعة الى فوتونين . في حين انه لا يوجد ميزون μ حيادي .

ان الميزونات π تشكل الحلقة الناقصة لتفسيرنا لتطور الاشعاع الكوني الثانوي . ان الميزونات π المشحونة أنشئت في تفاعلات البروتونات الاولى مع النوى الفضائية ، وهي تنفك وتنحل الى ميزونات μ ذات تفاعل نووي شبه معدوم ، وتشكل المكون النفاذ . وتنفك الميزونات π^0 الى فوتونات قوية جداً ، وهي في اساس المكون الضوء - الكتروني . ان نفس التفاعلات سوف تحدث بروتونات اخرى ونوترونات اخرى تتفاعل بدورها وفقاً لتفاعلية تدريجية .

تقدم التقنيات الادواتية - بخلال السنوات العشر الاخيرة تطورت الفيزياء التجريبية نحو التضخم فالمختبرات حيث كانت تدار بعض الادوات الضعيفة تحولت الى معامل بحث حيث تشغل مجموعة من الفيزيائيين ، والمهندسين ، والتقنيين والعمال . والبحث لم يعد يجري بنشاط الا بفضل مجموعات عديدة مزودة بوسائل قوية .

في السنكروترونات البروتونية ، التي وضع اول نموذج منها قيد التشغيل سنة 1952 ، يجتاز كل بروتون قبل أن يبلغ ذروة قوته ، مسافة من عيار المسافة بين الارض والقمر .

وبخلال لحظات من بضع ثوانٍ يعطي السنكروترون نفخة من 10^{10} الى 10^{11} بروتون بخلال دورة التسريع . وفي نهاية الدورة ، يقذف بهدف في حزمة البروتونات التي تتجول في غرفة فراغية . ان هذا الهدف ، هو مركز العديد من التفاعلات ، ويقذف بجزيئات ثانوية . هذه الجزيئات الثانوية يمكن غريبتها ، وتحليلها ، وتصويبها بواسطة مغناطيسات حارفة وبواسطة عدسات مغناطيسية من عدة اطنان . وهكذا تتشكل رزم من الجزيئات ترسل باتجاه اللاقطات المتخصصة . ومنذ عدة سنوات بدىء باستعمال فاصلات ذات صفائح متوازية طولها عدة امتار . والمزج بين حقل مغناطيسي وحقل كهربائي (محدث بفعل ضغط عدة الاف من الفولتات بين الصفائح) يحرف الجزيئات باستثناء بعضها ذات السرعة المعينة .

واصاب التطوير والتغير لاقطات الجزيئات . واصبحت اللدائن الفوتوغرافية التي ازدهرت ونجحت في سنة 1947 ، كثيرة الحساسية بما يكفي لتسجيل اثار الجزيئات المشحونة والاكثر سرعة .

ونعرض على ارتفاع عالٍ جداً ، بواسطة البالونات الفضائية أو في الرزم الصادرة عن الممرعات كدساً من الاوراق المععجونة بدون دعم فتشكل لاقطاً صلباً يبلغ حجمه عدة لترات . وبعد التحميص يصبح من الممكن بواسطة المجهر تتبع اثر جزيئية من ورقة مععجونة الى اخرى . مما ادى الى فيض غزير من الاكتشافات . وفقدت اليوم الصفائح الفوتوغرافية دورها المهم الذي كان لها بفضل خفة وزنها وبساطة استعمالها . وعرفت غرفة ولسون المحدثة بفعل العدادات هي أيضاً لحظة مجد .

وقد تم بناء غرف كبيرة يبلغ حجمها متراً مكعباً أو أكثر . وكانت بعض التجارب تقتضي وجود غرفتين متراكبتين الاولى ضمن حقل مغناطيسي والثانية تحتوي على صفائح تتفاعل فيها الجزيئات . وقد ظهرت هذه التقنية مشفرة للغاية في حالة الاشعاع الكوني ، ولكنها كانت غير ملائمة بالنسبة الى المسرعات لانها لا تستطيع تتبع وتيرتها .

والآلة المختارة في فيزياء الجزيئات الاولى هي اليوم الغرف ذات الحبيبات وقد ابتكر مبدؤها د . آ . غلايزر Glaser سنة 1952 .

يترك سائل قريب من درجة الغليان فجأة يتمدد . وعندها يبدأ الغليان داخل السائل ، وتظهر حبيبات البخار الاولى فوق الايونات التي تركها مرور جزيئة مشحونة . ويتجسد المسار عندئذ هنا بخط من الحبيبات داخل السائل . وتجمع غرفة الحبيبات حسنات العجينة الفوتوغرافية (وسط مكثف ، وإذا احتمال كبير برصد التفاعلات) وحسنات غرفة ولسون (ابعاد كافية لرصد التفكك في الجزيئات غير المستقرة) . ويمكن ان يكون السائل المستخدم مادة البروبان وهو سائل ثقيل (مزيج من البروبان وبودور المثلث أو الفريون أو حتى الزنون) ، وهذا السائل يسهل عملية تجسيد أشعة γ وتتيح التقاط جزيئات π^+ ، أو الهيدروجين . وغرف الهيدروجين السائل تمكن مباشرة من دراسة التفاعلات بين الجزيئات وبين البروتونات . وغرفة الهيدروجين في مجموعة الفاريز ، في بركلي لها طول يبلغ المتر . وهناك غرف أخرى أكبر قيد البناء . انها تجهيزات معقدة جداً تقتضي مساعدة العديد من التقنيين .

والغرف ذات الحبيبات قادرة على تتبع وتيرة المسرعات اي يمكن اطلاقها على فترات من بعض الشواني . ويمكن تصور دراسة ظاهرة خاصة يستخدم فيها قسم مؤلف من مئة الف صورة او اكثر يجب استخدامها باسرع ما يمكن . والتحميض يتم من قبل جيش من المراقبين . اما التحليل للاحداث الملتقطة فيتم بشكل اوتوماتيكي نوعاً ما ، حيث تسجل النتائج بشكل بطاقات مثقبة تنقل معلوماتها الى حاسب الكتروني .

والحاسب جيجر - مولر Geiger - Muller قد زال هو ايضاً لتحل محله لاقطات اخرى ذات انابيب الكرونية تضاعف الصور الضوئية .

واطواق التتابع يمكنها ان تميز بين معجونتين تفصلهما مسافة من عيار واحد على مليار من الثانية . وبعض التجارب الحديثة تتضمن مئات الومضات والمضاعفات الضوئية . وتحلل الومضات بواسطة اطواق الكرونية ومعظمها مضخم بواسطة جهاز ترانزستور [التي هي آلة لتقويم التيارات الكهربائية وتضخيمها] . وتسجل النتائج مباشرة في ذاكرة مغناطيسية ثم تنقل ، بين حلقين من حلقات المسرع ، الى شريط مثقب او الى شريط مغناطيسي بشكل يمكن من استعمالها بواسطة حاسب الكتروني .

ويستخدم ايضاً حاسب سيرنكوف وفيه يلتقط الضوء الصادر عندما تعجتاز جزيئة ما فضاءً شفافاً بسرعة تفوق سرعة الضوء في هذا الوسط . وتتيح هذه اللاقطات تحديد سرعة الجزيئات مباشرة .

إن سلسلة اللاقطات الكثافة تزايد سنة فسنة . نذكر منها فقط الغرفة ذات الشرارات : وفيها

يتجسد مسار الجزيئية بواسطة شرارات تنبثق بين صفائح معدنية محمولة إلى مستويات شحن مرتفعة . وتبدو هذه التقنية شائعة الاستعمال في التطبيقات العملية .

كثرة الجزيئات الغريبة - ان وجود جزيئية أثقل من الميزون π كان فكرة أوحى بها ، سنة 1944 لوبرنس - رنغيه Leprince - Ringuet وليريتيه Lhéritier ، أثناء تحليل صدام داخل غاز غرفة ولسون ، في سنة 1947 لاحظ روشستر وبتلر أيضاً في غرفة ولسون أثرين متشعنين فُسرًا بالتفكك أثناء الطيران ، أحد هذين الاثرين يعود إلى جزيئية حيادية والآخر يعود إلى جزيئية مشحونة . وكانت كتلة هذه الجزيئات تعادل ألف مرة تقريباً كتلة الالكترن . وخلال السنوات الثلاث التالية تم الحصول على عشرات من هذه الاحداث بفضل مجموعات اندرسون وبلاك التي اقترحت تسمية هذه الجزيئات « الجزيئات V » .

وفي سنة 1949 رصدت مجموعة باول Powell في بريستول ، فوق سطح صفيحة فوتوغرافية أثر جزيئية تفكك عند وقفها إلى ثلاثة ميزونات . وكانت كتلة هذه الجزيئية تقارب من ألف me وسميت هذه الجزيئية π (تو) .

وفي سنة 1951 لاحظت مجموعة منشستر ، وهي تحلل قسماً من 36 حدثاً وجود جزييتين مسؤولتين عن الجزيئات V الحيادية ، تفكك وتحلل بالشكل التالي : $\pi^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ وفي نفس السنة ظهرت أيضاً أنماط جديدة من هذه الجزيئات غير المستقرة . ودرس أوسيلي O'Ceallaigh على نفس الصفائح الفوتوغرافية توزيع طاقة الالكترونات المبعثرة أثناء تفكك الميزونات μ ولاحظ وجود حدثين جديدين . هناك جزيئية كتلتها من عيار ألف me تفكك في حالة السكون باثة في حالة أولى جزيئية ثانوية شديدة الطاقة ، وفي حالة أخرى تبث ميزون μ من عيار 6 MeV . وافترض أوسيلي وجود جزيئية جديدة سماها χ (كبا Kapá) تفكك إلى ميزون μ وإلى جزييتين حياديتين (الجزيئية الثانوية المشحونة لا تتمتع بطاقة ثابتة) . واقترح مخطط التفكك التالي : $(\pi^+ + \mu^+ \rightarrow \pi^0 + \pi^+)$ (ترينو) ، ولم يتأكد هذا المخطط إلا في سنة 1958 بفضل فريق جامعة روشستر في الولايات المتحدة .

وأثناء القيام بذات العمل لاحظ مينون Menon وأوسيلي وجود احداث أخرى لا يمكن تفسيرها بمخططات التفكك المعروفة . وفي سنة 1953 اكدا على وجود جزيئية جديدة χ (كي) : $(\chi^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0)$

وفي سنة 1952 نشر فريق منشستر اول مثل عن حدث فريد من نوعه اسمه تدرج V . وقد أظهرت نفس الكليشية أثراً مشبهاً بـ V مقلوبة مما يدل ، على ما كان يبدو ، ان التفكك يحصل أثناء الطيران لجزيئية مشحونة فيعطي جزيئية ثانوية مشحونة ويعطي أيضاً V^0 [جزيئية غير مشحونة] . ولم يتأكد هذا الحدث إلا في سنة 1953 - 1954 بفضل مجموعتي اندرسون ولوبرنس - رنغيه .

وفي سنة 1953 رصدت مجموعات عدة من الباحثين في اللدائن الفوتوغرافية وفي غرف ولسون اثار جزيئات أثقل بكثير من البروتون ، تفكك عند التوقف وتعطي جزيئية مشحونة سريعة .

وقدم مؤتمر بانيس دي بيغور Bagnères de Bigorre ، سنة 1953 ، بعض الايضاح في الشروحات وحول الافكار . وعلى أثر هذه المواجهة العريضة ، لوحظ بوضوح وجود مجموعتين داخل الجزيئات الجديدة غير المستقرة : الميزونات K ، ذات الكتلة الموجودة بين كتلة الميزون π - وكتلة البروتون ، ثم الهيرون [جزئية أولية ، قليلة الاستقرار ، كتلتها أكبر من كتلة النوكليون] وكتلته أكبر من كتلة الترونات .

في مجموعة الهيرونات أطلق رمز Λ^0 على V_1^0 القديم ، وسيغما Σ على الجزيئات التي اكتشفت حديثاً ، Ξ (أكزي) على الجزئية المسؤولة عن تدرج V . أما الكتل فكانت على التوالي 2300 ، 2500 و 2000 me ميزون .

وبقيت مجموعة الميزونات K أكثر غموضاً . ويمكن اعتبار الـ V_2^0 التي قال بها اخصائيو غرفة ويسون وكأنها المقابل أو العوض الحيادي لـ χ عند دعاة الصفائح الفوتوغرافية . وأطلق على هذه الميزونات اسم Θ^+ ، Θ^- (تينا Téta) : وتنبأ داليتز Dalitz سنة 1953 بنموذج آخر من تفكك (تو Tau) τ إلى π واحد مشحون وإلى اثنين من π^0 .

ان هذا التو (τ) قد اكتشف سنة 1954 في روتشستر Rochester في الولايات المتحدة . ورغم القياسات المتكررة والتي تتزايد دقتها ، ورغم اقتصرها على عدد محدود من العناصر ، بد من الصعب العثور على فرق في الكتلة أو في الحياة الوسطى بين (تاتا Téta) Θ والتو τ و π (الكابا Kapa) التي اعتبرت جميعها مظاهر مختلفة لنفس الجزئية .

وطرحت الجزيئات الجديدة غير المستقرة مسألة خطيرة على المنظرين . ان الحياة المتوسطة ، من عيار 10^{-10} من الثانية بالنسبة إلى الكابات K الحيادية والهيرونات تبدو مناقضة مع انتاجها الخصب نسبياً . وتؤدي الحسابات إلى قيمة أدنى بكثير .

وقدّم مختلف المنظرين ، ومنهم بيس Pais ، سنة 1952 ، فرضية الانتاج المقرون بجزيئات جديدة غير مستقرة مثلاً : $\pi + \text{نكليون} \rightarrow K + \Lambda^0$.

ويخرب تفكك هذه الجزيئات بعض قاعدة الانتقاء المجهولة ، المشابهة للقواعد التي تحكم التنقلات الذرية . فالتفكك كان إذا « انتقالاً ممنوعاً » ، مما يفسر حياته المتوسطة الاطول . والمقابل يشبه الانتاج المشترك ، وهو يتيح عدم خرق هذه القاعدة « انتقالاً مسموحاً به » . وجاءت نتائج تجارب بروكهافن Brookhaven تؤيد هذه الافكار .

وبصورة مستقلة أوضح كُـل من جل - مان Gell - Mann ونيشيجيما Nishijima مخطط بيس ووضعا تصنيفاً للجزيئات الجديدة غير المستقرة . واعطى جل - مان لكل جزئية عدداً جديداً كيمياً ، دونما معنى فيزيائي ظاهر أطلق عليه تسمية « الغرابة » S .

ان الجزيئات العادية أي المزدوج بروتون - نرون (وهما نسختان لنفس الجزئية التي هي النكليون ولا نميز بينهما الا بالتفاعلات الكهرومغناطيسية التي جعلت مسؤولة عن اختلاف كتلهما فيما بينها) ، والمثلثة ($\pi^+ - \pi^0 - \pi^-$) ، تتميز بغرابة معدومة : ($S = 0$) [يعني غرابة] . وادت

البحوث النظرية بجل - مان الى افتراض وجود « فريد Singulet » $(S = -1)$ ، والى افتراض وجود مثلث $S(S=-1)$ ، والى وجود مزدوجة $(S = 2)$ ، والى وجود مزدوجتين : $K^0 - K^0 (+S=1)$ و $K^- - K^- (-S=1)$.

ان هذا المخطط يشرح تماماً الظاهرات المعروفة . وفي انتاج $K^0 - K^0$ تكون الغرابة (S) الكاملة معدومة ولكن K لا يمكن الا ان تكون K^+ أو K^- . أما K^- يجب ان تكون بان مع K^+ مما يقتضي طاقة أكثر شدة . وفي التفكك $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^0$ تختلف الغرابة بمعدل وحدة ، وعندها تخترق قاعدة حفظ الغرابة .

ولكن هذا التصنيف ، كتصنيف مندليف القديم ، اتاح أيضاً القيام بتنبؤات : Σ^0 المشتبه بها منذ عام 1945 في بروكهافن اكتشفها ولكر سنة 1955 . و Ξ^0 قد لوحظت فقط سنة 1958 في بركلي في غرفة لحبيبات الهيدروجين السائل ؛ ولا يعرف الا بعض من نماذجها .

إلا ان تصنيف جل - مان - نيشيجيما Gell - Mann - Nishijima لا يثنى الا بنمط واحد من الميزون K في حين ان مختلف أنواع التفكك سوف تتضاعف . ويرمز اليها الآن بما يلي $K_{ns}(\pi)$ ، واكتشفت مجموعة بريستول النموذج (أنترينو) $\pi^0 + \pi^0$ + الكترون $(K_{ps} \rightarrow)$. في سنة 1945 ضمن المستحلبات النووية ؛ وأثبتت مجموعة مدرسة البوليتكنيك سنة 1955 : (تشرينو $\mu + n$ ميزون $\rightarrow K_{ps}$ النموذج) ، في تجربة تتضمن غرفتين من غرف ولسون متراكبتين تعملان في قمة بك دو بيدلي Pic du Midi في فرنسا ورصدت نماذج تفكك Λ^0 و K^0 في الجزئيات الحادية سنة 1955-1956 في بروكهافن ، ضمن تجارب على العدادات وعلى غرفة الحبيبات . وتم اثبات نماذج تفكك الميزونات K السلية ، المتوافقة مع ما يمكن توقعه من سلوك الميزونات الايجابية ، بصورة متتالية سنة 1953 حتى سنة 1957 . وأصبح الجو مهيئاً لقبول وجود ميزون K وحيد يسلك سلوكات مختلفة ، والصعوبة الوحيدة التي أزعجت لمدة طويلة علماء الفيزياء تكمن في التناقض الظاهر بين π و θ ، ولكنها حُلَّت سنة 1956 باكتشاف عدم الاحتفاظ بالتكافؤ في التفككات .

ولكن في مختلف المختبرات ، احتفظ فيزيائيون في ملفهم بأثلة عن احداث غير عادية . في سنة 1955 توصل جل - مان وبيس Pais ، من خلال اعتبارات نظرية معقدة ، إلى التنبؤ بوجود ميزونين حياديين ، أحدهما حياته المتوسطة 10^{-10} من الثانية ، والآخر حياته المتوسطة أطول ويتفكك إلى ثلاث جزئيات ، أو إذا مسؤول عن احداث غير عادية . وافترضت نظريتهم ان الميزونات الحادية المحدثة بخلاف تفاعل ما هما K^0 أو \bar{K}^0 (أو نقيض K^0) ، بحسب الغرابة المطلوبة . واثناء عملية التفكك ، ينعدم K^0 و \bar{K}^0 ويبقى فقط K^0 أو \bar{K}^0 ، باعتبار هذين المظهرين لـ K الحيادي هما « مزيج من K^0 و \bar{K}^0 » (وبالعكس) . وحتى بالنسبة إلى الجزئيات الغريبة ، انه سلوك غامض لا يمكن فهمه الا من خلال النظرية الكمية . وقد تحققت هذه الفرضية في بروكهافن من قبل فيزيائيي جامعة كولومبيا ، فقد وضعوا غرفة ولسون على مسافة من الهدف منبع الميزونات الحادية (ان الجزئيات قد استبعدت بواسطة مغناطيس) بحيث لم يبق أي K^0 . وعندها لاحظوا مع ذلك تفككات في K^0 ، انما كلها غير طبيعية .

الجزئية	الكتلة	أسلوب التفكك	حياة وسطى	دوران ($\frac{h}{2\pi}$ بوحلات)	المرسلة	سنة الاكتشاف
μ	$207 m_e$	$\mu^\pm \rightarrow e^\pm + 2 \nu$	$2.2 \cdot 10^{-6} s$	$\frac{1}{2}$	غرفة ويلسون أشعة كونية	1938
π^\pm	$273 m_e$	$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu$	$2.6 \cdot 10^{-8} s$	0	مستحلبات فوتوغرافية أشعة كونية	1947
π^0	$264 m_e$	$\pi^0 \rightarrow 2 \gamma$	$\sim 10^{-16} s$	0	عدادات سنتغر وسيلكتون بيركلي	1949
ميزون K	K [±] مشحونة	$K_{\pi^1} \rightarrow \pi^\pm + \pi^+ + \pi^- (\pi)$	$1.2 \cdot 10^{-8} s$	0	مستحلبات فوتوغرافية أشعة كونية	1949
		$\rightarrow \pi^\pm + \pi^0 + \pi^0 (\pi')$			مثلاً	1954
		$K_{\mu^1} \rightarrow \mu + \nu$			RC - غرفة ويلسون	1956
		$K_{\pi^1} \rightarrow \pi + \pi^0$			RC - مستحلبات	1951
		$K_{\mu^1} \rightarrow \mu + \pi^0 + \nu$			RC - مستحلبات	1951
		$K_{e^1} \rightarrow e + \pi^0 + \nu$			RC - مستحلبات	1954
	K ⁰ محايدة	$K_1^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$	$10^{-10} s$	0	RC - ويلسون	1951 (V ₂)
		$\rightarrow \pi^0 + \pi^0$			عدادات دوسموترون بروكهافن	1955
		$K_2^0 \rightarrow$ 3 جزيئات $\left(\begin{matrix} e + \pi + \nu \\ \mu + \pi + \nu \\ \pi^+ + \pi^- + \pi^0 \end{matrix} \right)$	$6 \times 10^{-12} s$	0	غرفة ويلسون كوسمترون بروكهافن	1956
ميزون Λ	Λ ⁰	$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$	$2.5 \cdot 10^{-10} s$	$\frac{1}{2}$	RC - ويلسون	1951 (V ₂)
		$\rightarrow n + \pi^0$			غرفة حبيبات كوسمترون	1955
	Σ [±]	$\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$ $\rightarrow n + \pi^+$	$\sim 10^{-10} s$	$\frac{1}{2}$	غرفة ويلسون ومستحلبات فوتوغرافية أشعة كونية	1953
		$\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$	$1.6 \cdot 10^{-10} s$		غرفة بيت - كوسمترون RC - مستحلبات	1956
		$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$	$< 10^{-12} s$		غرفة بيت كوسمترون	1955
	Ξ [±]	$\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$	$\sim 10^{-10} s$	?	غرفة ويلسون	1953
		$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$	$\sim 10^{-10} s$	?	أشعة كونية غرفة حبيبات يفاترون بيركلي	1958

ملاحظة : توجد أيضاً أساليب نافذة لتفكيك الهيزونات إلى ثلاث جزيئات إحداهما إلكترون أو ميزون م والأخر نيوترينو.

في الوقت الحاضر ، تستمر دراسة الجزيئات الغريبة في السرعات الكبرى ، وبوسائل قوية .

مضادات الجزيئات - بنية النكليونات - تنص نظرية ديراك ان لكل جزيئية مضاداً لها . والجزيئية ومضادها يجب أن يكون لهما نفس الكتلة ، ونفس الدوران (الغزل) وقيم متساوية ومتضادة من الشحنة الكهربائية والعزم المغناطيسي .

وقد تم الاثبات الاول سنة 1932 ، مع اكتشاف الالكتران الايجابي . وكان من المفيد ان نعرف ما إذا كانت نظرية ديراك أيضاً صالحة بالنسبة إلى البروتون ، وهذا ما كان الجميع يفترضونه . والبروتون المضاد أو البروتون السليبي ، كان قد استشف لعدة مرات في الاشعاع الكوني ، انما بدون تأكيد . وفي سنة 1955 فقط ، أي بعد سنة من تشغيل البيقاترون في بركلي ، جرى التأكيد من وجود البروتون المضاد من قبل سيفريه Segré وشمبرلين Chamberlain ومعاونيهما .

كانت التجربة يومئذ صعبة : ولم يكن معروفاً الا بروتون معاكس أو اثنان ، ضمن مليون من الجزيئات الطفيلية . في الوقت الحاضر ، تتيح الفاصلات الحصول على رزم شبه نقية من البروتونات المعاكسة . اربعة سرعات فقط ، في العالم تستطيع خلق جزيئات معاكسة : بيقاترون بركلي في الولايات المتحدة ، فازوترون دينا في الاتحاد السوفياتي ، والسكروترون العملاق في كل من بروكهافن وجنيف (C. E. R. N) .

ويولد البروتون وعكسه زوجاً أثناء تفاعلات طاقة كبيرة جداً . وينعدم البروتون المعاكس الساكن مع النكليون ، وتزول طاقة كتلتهما بشكلي ميزون π و K . أثناء التحليق يستطيع البروتون المعاكس ان يحدد الشحنة في البروتون . ويتحول الى نترون معاكس : وهكذا تحقق انجاز الترون المعاكس بفضل بيكشيوني سنة 1956 في بركلي أيضاً .

وتم اكتشاف الجزيئات المضادة أو المعاكسة اليوم بدون تعجب . أما وقد ثبتت نظرية ديراك تماماً ، فقد أصبح من الممكن معرفة ما يطلب . لقد شهدت السنوات الأخيرة على التوالي : ظهور معاكس Λ^0 في بركلي ، وقد اكتشف في المستحلبات الفوتوغرافية ، ثم معاكس Σ^+ ، المرصود في روما في صفائح معروضة في البيقاترون ، ومعاكس Σ^- في دينا ، في غرفة حبيبات ، ومعاكس Σ^0 في بركلي والمعاكس Ξ^- في (C. E. R. N) سويسرا وبروكهافن . وسوف تتيح السرعات العظمى في بروكهافن وجنيف الآن اجراء دراسة كاملة تماماً لخصائص معاكسات الجزيئات .

وهناك فصل آخر مهم في فيزياء الطاقات العليا يهتم بالمسألة الاساسية مسألة بنية النكليونات (النويات) . في الحسابات تعتبر النكليونات كجزيئات نقطية لها عزم زاو خاص او دوران ، وهذا بالتأكيد ليس الا تبسيطاً . ان كون الترون ، المفنقر إلى الشحنة ، مزوداً بعزم مغناطيسي يحمل على الافتراض بانه لا يمكن ان يتحول إلى مجرد نقطة جيومترية .

من وجهة نظر القوى النووية ، لا يفعل النكليون فعله الا وراء مسافة يمكن تعريفها بأنها

شعاعه . انما يجب أيضاً أن نميز توزيع شحنته بواسطة قذيفة مجردة من تفاعل نووي . انها حالة الالكترونون ولكنه لا يكون مفيداً الا اذا كان طول موجته المضاف أخف من « أبعاد » النكليون ، أي الا إذا كان يمتلك طاقة تفوق بضع مئات من الـ (Mev) . وعندها يشبه البث النظري للالكترونون بواسطة شحنة تَقْطِيعَ البث المرصود ، ونستخرج منه « عامل الشكل » ، أي توزيع الشحنة .

ان مثل هذه التجارب قد تمت منذ عدة سنوات على يد فريق ر . هوفستادتر R. Hofstadter الذي استخدم الكترونات الطاقة الكبرى في المسرّع الخطي ، مسرّع ستانفورد Stanford وقد اقتضت هذه التجارب استخدام مطيافيات تتيح تحليل الالكترونات ذات البطاقات العالية . وهي تشير إلى « شعاع كهربائي » وسط النكليون الأدنى من شعاعه النووي .

ويمكن تفسير هذه النتائج بافتراض ان البروتون أو النيوترون ينفصلان جزئياً إلى نكليون عاير وإلى غمامة من الميزونات π (ضمن بثر قوة كامنة ، لا تستطيع الخروج منها يغيب تفاعل ما) .

ان هذه الدراسات تتوالى ، وستتيح من غير شك ذات يوم توضيح افكارنا حول طبيعة الجزيئات الأولية .

VI - التفاعلات الأولية - القوى النووية

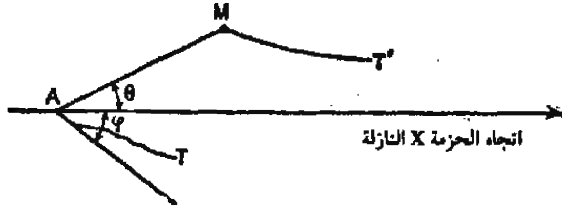
وجود الفوتونات - الأثار الضوئية الكهربائية وكومبتون (Compton) - اننا نعلم أي دور أساسي لعبه الاثر الضوئي الكهربائي ، في الاكتشاف غير المتوقع ، للصفة الجسيمية في الضوء على يد انشتين سنة 1905 (راجع حول هذه المسألة مداخلات ل . دي بروجلي في الفصل I من هذا القسم ، وب . مارزين ، وج . لومزك في الفصل السابق الفقرة II) .

وبدراسة قانون هذا الاثر ، بالنسبة إلى معدن ما ، نلاحظ ان البث يبدأ عند تواتر ضوئي عتبة ν_0 خاص بكل معدن ؛ فاذا كان التواتر ν للضوء النازل يتجاوز ν_0 ، فان الطاقة الحركية في الالكترونات المبعثرة تتناسب مع الفرق $(\nu - \nu_0)$ ؛ على ان يكون عامل التناسبية هو ثابتة بلانك (h) . وقد فسر انشتين قانون الاثر الضوئي الكهربائي بالوجود الدائم ، في الاشعاع ، لكميات (حزمات) (quanta) من الضوء ، تمتصها الالكترونات « الحرة » الموجود في المعدن المشع ؛ وتستولي هذه الالكترونات على الطاقة $h\nu$ ، واذا تجاوزت هذه الكمية طاقة الاستخراج E_0 ، فان الالكترونات قد تخرج بطاقة : $(E = h\nu - E_0 = h(\nu - \nu_0))$.

ان الامتصاص الانّي لكمية ما من قبل الالكترونون يقتضي أن تكون هذه الكمية ، لحظة الامتصاص ، متموضعة في الفضاء كما الالكترونون ، من هنا مفهوم الجسيمات الضوئية أو الفوتون الذي ادخله انشتين .

وقد ثبت هذا المفهوم بشكل واضح بعد اكتشاف اثر كومبتون Compton سنة 1923 من قبل هـ . آ . كومبتون . هذا الاثر هو انتشار للأشعة السينية (X) مع تغيير للتواتر امكن رصده في بادئ الأمر ، بواسطة مشع ذي وزني خفيف ذرياً (الغرافيت والبارافين) ، مع تحديد التواترات بطريقة التشعيت البلوري للأشعة السينية . ان تغيير التواتر المقاس (او تنقل طول الموجة $\Delta\lambda$) يتعلق بالزاوية θ ، زاوية البث أو الانتشار .

ووضع كومبتون وديبي Debye نظرية هذه الظاهرة مفترضين وجود - داخل الضمة النازلة - فوتونات مينية (X) ذات طاقة $h\nu$ وكمية الحركة (أو النبض) $h\nu/c = h/\lambda$ باعتبار أن $v = c/\lambda$ هي التواتر الموافق لطول الموجة λ ، وأن c هي سرعة الضوء في الفراغ . أن هذه المعادلة أو العلاقة بين الطاقة والنبض هي التي تتطلبها نظرية النسبية ، فيما يخص جسم سرعته c ، أي ذي كتلةٍ عديمٍ في حالة السكون .



صورة 20 - مبدأ أثر كومبتون .

هذان الفيزيائيان افترضوا أن الصدمة يمكن أن تحدث بين واحدٍ من هذه الفوتونات وبين إلكترون حرٍّ شبه ساكن (واهن الارتباط) في البثا ؛ ويقذف الإلكترون بسرعة باتجاه ما فيشكل الزاوية ϕ مع اتجاه الفوتون النازل ، في حين أن هذا الأخير ينحرف بزاوية مقدارها θ فيفقد قسماً من طاقته (وإذن من تواتره) المتعلقة بـ θ (الصورة 20) . ويكفي كتابة حفظ الطاقة والنبض الشاملين ، أثناء الصدمة للحصول على تنقل λ المرصود ، وكذلك على ϕ وسرعة الإلكترون تبعاً لـ θ .

في بعض الحالات يمكن أن نرصد الإلكترونات المقذوفة من البثا ، ولكن كومبتون وسيمون استطاعا مباشرة رصد الظاهرة بفضل غرفة ولسون ، ثم التبت بعدها من العلاقة المحسوبة بين θ و ϕ .

الحقل الكهرمغناطيسي المكمّم - من أجل تفسير وجود رزم الضوء ، يكفي في أغلب الأحيان ، أن نفترض ، مع بلانك Planck أن الجزيئات « المادية » المشحونة هي ذات طاقة مكمّمة .

هذا المبدأ الذي وضعه نيلز بوهر سنة 1913 لتفسير بث الخطوط الذرية من قبل الإلكترونات ، ومن جهة أخرى لتفسير ظروف التكمّم (راجع أيضاً دراسة ل . دي بروغلي في الفصل الأول من هذا القسم) هذه النظرية القديمة حول الكتلة أو الكميات استبدلت حوالي سنة 1925 بالميكانيك الكانتي أو الذبذبي ، بفضل أعمال ل . بروغلي وشرودنجر وبفضل أعمال هيسنبرغ . افترض بروغلي أن مطلق موجة يجب أن تقترن بجزيئية ، وافترض صحة العلاقتين أو المعادلتين $(E = h\nu$ و $p = h/\lambda)$ بين المقادير الميكانيكية (الطاقة E والنبضة p) بين الجزيئية والكميات الحركية داخل الموجة .

وعشر شرودنجر على معادلة الانتشار الواجب توفرها في وظيفة الموجة ، عندما تخضع

الجزئية « غير النسبوية » إلى قوى معينة . هذه « الوظيفة للموجة » ليس لها تفسير فيزيائي مباشر⁽¹⁾ ، بل تفسير احتمالي قدمه ماكس بورن وهو يتطابق مع استحالة تعريف مسار الجزيئية على المستوى الميكروسكوبي : وهي علاقات اللايقين التي قال بها هايسنبرغ .

ان الشروط المفروضة على وظيفة الموجة تؤدي الى تكميم الطاقة عندما تشكل الجزيئات نظاماً مرتبطاً (الكترونات ونواة في الذرة مثلاً) . ومن جهة أخرى استلهم شرودنجر مبدأ التطابق الذي أعلنه ن . بوهر ، فاستطاع معالجة مسألة الاشعاع بخلال عملية انتقال .

وأضاف الى الاشعاع كميات كهربائية كلاسيكية متذبذبة عبر عنها بواسطة وظائف موجة حالتين : أساسية (E_1) ونهائية (E_2) ؛ ان هذه الكميات قد أدخلت في المعادلات الكلاسيكية التي وضعها ماكسويل بالنسبة الى الحقل الكهرومغناطيسي ، وحصل ، ليس فقط على تواتر مبثوث بل أيضاً على الزخم وعلى الاستقطاب في الاشعاع .

إلا أن هذا التكميم للجزيئات « المادية » وحدها ليس مرضياً تماماً .

وهكذا يكون للالكترون غير المرتبط بالذرة (والذي يمتلك من وجهة نظر كلاسيكية ، سرعة تفوق « سرعة التحرر ») طاقة شاملة (حركية + كمونية) ايجابية يمكن ان تتغير بشكل دائم . وعندما يكبح هذا الالكترون بوجود قوى كهربائية تدفعه ، فهو يبعث اشعاعاً سبنيأ (X) يسمى اشعاع الكبح ، ويكون طيف تواتره متتابعاً . وهكذا أمكن الحصول على أشعة سينية بواسطة أنابيب ، بتوقيف الكترونات كاثودية على قطب المضاد للكاتود ، أو بواسطة بتاترون ، بالتوقيف عند هدف . في هذا الاشعاع توجد فوتونات من كل الطاقات $h\nu$ ، من شأنها احداث أثر ضوئي كهربائي أو ما يسمى كميون .

ثم في سنة 1928 تقريباً أخذ ديراك وجوردان وويغنر وهايسنبرغ ويولي يعالجون تكميم الحقل الكهرومغناطيسي .

وكما أنه يتم الانتقال من الميكانيك الكلاسيكي إلى الميكانيك الكمي باقران كل مقدار كلاسيكي « عامل » يعمل على وظيفة الموجة ، رأى هؤلاء العلماء اعتبار الحقل « كموامل » تؤثر في « وضع » متميز بعدد من الفوتونات في كل تواتر . وهكذا يتوافق مع كل حقل تواتري « عامل يحطم الفوتون في هذا التواتر » ويفتقر هذا العامل الامتنصافي بعامل بشي . وفي حال غياب الجزيئة المشحونة يتم الحصول على تطور « الوضع » بحاصل من هذين العاملين : الطاقة والنبتة بقيان ثابتتين . ويتج من جبر العوامل موضع الدراسة (علاقات تغلفية) ان هذه الطاقة وهذا النبتض يكتمان بكمية $h\nu$ و h/λ . وبالعكس اذا كان هناك انتقال لجزيئة مشحونة ، فلا يرسم الا عامل بشي . (او امتنصافي) : ان الفوتون يبعث أو يمتص ، وهذه العملية يمكن أن تتكرر . واحتمالية هذه

(1) وقد حاول بعض المنظرين حديثاً ومنهم ل . و . ي . بروغلي أن ينظروا ، على مستوى « فوق مجهري » ، إلى موجة فيزيائية وإلى موضعة دقيقة للجزيئات المتطابقة ، ولكن هذا الرأي ، الذي يصطدم بالكثير من الصعوبات بقي عاجزاً عن مواجهة الواقع .

العملية تتناسب مع مربع الشحنة الأولية (e) للجزيئية (الكترن ، بروتون ، الخ) ، أو بصورة أدق تتناسب مع ثابتة بلون حجم $1/137 = (2\pi e^2)/hc$ ، (وهي ثابتة ذات بنية دقيقة) . ان احتمالية العمليات المزدوجة هي أصغر بكثير ، اذ هي تتناسب مع : $(1/137)^2$ ، الخ . وهذا يتيح معالجة المسألة الكمية في تزاوج الحقل مع الجزيئية المشحونة بفضل طريقة الاهتزاز .

وهكذا تم بناء نظرية تنبئ عن وجود فوتونات وتتيح أن نحسب بدقة احتماليات البث والامتصاص وكذلك احتساب كل الخصائص « الكلاسيكية » في الاشعاع (استقطاب ، الخ) ، في حال تكون عوامل الحقل متوافقة مع معادلات الحقول الكلاسيكية .

ولكن هذه الحقول لها دور في تفسير انتشار (ذي السرعة المتناهية) تفاعل قائم بين جزيئين مشحونتين ، وهي سرعة متناهية تتطلبها نظرية « النسبية » . من الناحية الكلاسيكية يثبت حقل غير مشع (أي لا يحمل طاقة لمسافة بعيدة ، بعكس ما هو عليه حال الحقل المتأرجح المتذبذب ، حقل الاشعاع الكهرومغناطيسي) ، بواسطة إحدى الجزيئات ويؤثر في الآخر بعد الزمن اللازم للانتشار . في النظرية الكمية يتوافق مع هذا الحقل غير المشع فوتون « احتمالي خيالي » غير قابل للرصد ، متبادل بين الجزيئتين ، ينقل النبض من جزيئية إلى أخرى بحيث يتم بث الجزيئات . وتصور هذه العملية في المخطط الوارد في الصورة 21 التالية أو ما يسمى بخط « فينمان » Feynmann الذي يمثل فقط الترابط بين مختلف الجزيئات (وليس المسارات غير المحددة) .

نتصور عندها كيف أمكن لهذه النظرية « الكهروديناميكية الكمية » ان تنتقل إلى كل التفاعلات بين الجزيئات « المادية » . لكل تفاعل حقل كلاسيكي يوافقه وينشره أي له ، من ناحية التكميم جزيئية محددة .

نظرية دبراك حول الالكترن والپوزيتون - نرى بالتالي ان مفاهيم « الحقل » ، من جهة ، و « الجزيئات المادية » من جهة أخرى ، تفقد وضوحها . ولكن ظهر في حوالي سنة 1927 ان « جزيئات الحقل » (الفوتون مثلاً) وحدها يمكن توليدها وتحطيمها اثناء العمليات الفيزيائية .

الواقع ، انه يوجد فرق آخر مهم جدا بين هاتين الفئتين من الجزيئات : فجزيئات الحقل ، المسماة « بوزون » تخضع لاحصاء بوز Bose ؛ وهي غير مرئية ، كما هو طبيعي بالنسبة إلى جزيئات متماثلة لا يمكن تتبع حركاتها على الصعيد المجهرى ، ولكن يمكن ان يكون منها عدد ما في حالة معينة (فوتونات من ذات التواتر وذات الاتجاه الانتشاري مثلاً) .

بالمقابل تخضع « الجزيئات المادية » (الفرميون : الكترونات ، وپروتونات أو نوترونات) لاحصاء فرمي ؛ انها غير مرئية ، ولا يمكن ان يكون منها اكثر من واحد في حالة معينة ، مما يفسر لماذا لا نستطيع قياس الحقل المجهرى المطابق .

ترتبط هذه الفروقات بالدوران ، الذي يميز العزم الحركي الخاص بهذه الجزيئات .

يقال ان دوران الفوتون هو واحد عندما تُتخذ $(h/2\pi)$ كوحدة : ان قيمة اسقاط هذا السهم

على محور تكلمي $0x$ يمكن أن يكون $(-1, 0)$ أو (1) بالنسبة إلى هذه الواحدة (الذروة 1) ؛ وهذا يتطابق مع دالة أو تابعة لموجة مقترنة وسهمية (حقل كهربائي من ثلاثة مكونات) .

بالنسبة إلى الإلكترون ، يكون الدوران نصفاً $(1/2)$: وقيمة الاسقاط « ناقص نصف » $-\frac{1}{2}$ أو « زائد نصف » $+\frac{1}{2}$ (ذروة $1/2$) ؛ وهذا يتوافق مع دالة موجة مقترنة « دورانية » ذات مكونين (وليس من الممكن اعطاء صورة جيومترية عن هذا « الدائر أو الغازل » « Spineur » ، ولكن العلاقات التي تربط بين مكونات ضمن نظامين من المحاور مختلفين ، تبدو أبسط مما لو كانت بالنسبة لسهم . ان دالة الموجة بالذات ليس لها معنى « فيزيائي » ، خاصة اذا لم يوجد حقل مجهري قابل للقياس ومقترن) .

في حين تتألف جزئيات الدوران الكامل (او العدم) دائماً من بوزونات ، تتألف جزئيات عزم الدوران النصفية $(1/2)$ دوران كامل (من فرميونات . يجب ان نلاحظ انه من اجل تطبيق مبدأ الاستثناء (الذي جاء بولي بنصه سنة 1926 فيما يتعلق بهذه الجزئيات) ، يجب ان تعتبر كمتميز حالات لا تختلف الا من حيث اسقاط الدوران $1/2 -$ أو $1/2 +$. ان كل الجزئيات التي تصنف « كدائمة » لها نصف دوران (الكترون ، بروتون ، الخ) وفضلاً عن ذلك انها القيمة نصف الكاملة المعروفة . بالنسبة إلى البوزون ، ان القيم الوحيدة للدوران الكاملة المعروفة هي صفر ، وواحد (متمثل بالفوتون فقط) .

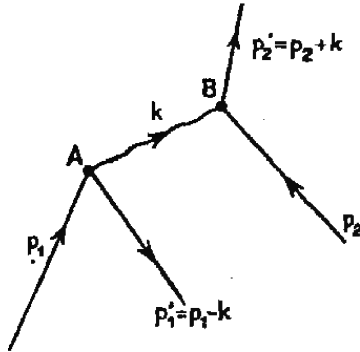
ان معادلة شرودنجر تنطبق على جزئيات محرومة من الدوران (دوران صفر) ، غير نسبية . اشار بولي سنة 1926 ، إلى الشكل الذي يجب أن يكون لمعادلة الموجة فيما خص الجزئية ذات الدوران النصفية $(1/2)$ (غير النسبية والموضوعة في حقل كهرومغناطيسي .

عثر ديراك سنة 1928 على معادلة الانتشار بالنسبة إلى جزئية نسبية من الدوران النصف ؛ ان دالة الموجة المقابلة لها بالضرورة أربعة مكونات . وتعطي المعادلة سلوك الإلكترون في حقل كهرومغناطيسي دون ادخال ثابتة جديدة (بخلاف معادلة بولي) .

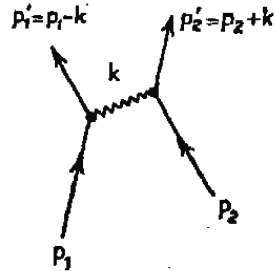
في حالة بولي ، قد تقتزن المكونتان بحالتي الدوران الممكنتين ، في حالة ديراك ، قد يقتزن الضرب بـ 2 لعدد المكونات ، بالواقعة التي مفادها ان طاقة الكترون حر (كتلة ساكنة + حركية) قد تختار ايجابية أو سلبية . ان مثل حالة الكتلة السلبية ليس لها أي معنى فيزيائي الا انه تمكن اعادة تفسيرها في اطار نظرية الحقل الكمي الالكتروني ، أي النظرية التي تنظر إلى امكانية خلق أو تدمير الكترونات .

وتدمير الكترون ذي طاقة سلبية يفسر عندئذ ، وكأنه بث جزئية ذات طاقة ايجابية بمميزات جبرية هي مميزات الإلكترون ، في حين ان كل المميزات الجبرية تكون مشحونة بالاشارة (شحنة ، نبضة ، دوران ، عزم مغناطيسي ، الخ) .

إن هذه الجزئية ذات الشحنة الإيجابية هي البوزيتون . وبالمقابل إن إيجاد الكترون ذي طاقة سلبية يفسر وكأنه تحطيم بوزيتون . إن هذا البوزيتون المضاد للإلكترون ، قد اكتشف فعلاً من قبل اندرسون سنة 1932 في الاشعاع الكوني .



صورة 22 - مخطط فينمان في حالة تفاعلية الالغاء والانعدام .



صورة 21 - مخطط فينمان . تمثل P_1 و P_2 النبضات الأساسية للالكترونين : P_1 و P_2 النبضات النهائية ، بعد تبادل الفوتون النظري المقترض ذي النبضة K .

وإذا عدنا إلى مخطط فينمان (صورة 21) نرى أن الإلكترون 1 الذي يبعث الفوتون k يمكن أن يمر في حالة « ذات طاقة سلبية » ، وهذا ما يصور بشكل مخطط (صورة 22) (وفيه تذهب الجزيئات ذات الطاقة الايجابية نحو الأعلى ، والجزيئات ذات الطاقة السلبية نحو الأسفل) . هذا المخطط يجب أن يعاد تفسيره هكذا : عند A ، يتعادم الإلكترون P_1 مع بوزيتون ذي نبضة معاكسة لـ P_1' محدثين الفوتون k ، وهذا الأخير يؤثر عند B على الإلكترون P_2 . عندما يكون الفوتون « حقيقياً » (أي قابلاً للرصد) ، فإن طاقته يجب أن تكون على الأقل مساوية لمجموع الطاقات الساكنة المتحصلة من الجزيئات المدمرة ($2mc^2$) (باعتبار m كتلة ساكنة : كتلة الإلكترون والبوزيتون) أي ما يعادل 1.02MeV .

رصدت عملية الالغاء سنة 1933 لأول مرة من قبل ف . جوليوت وج . تيبوه . وهي تقتزن في أغلب الاحيان بيت فوتونين بطاقة mc^2 تؤمن حفظ الطاقة والنبضة ، حتى بدون تراجع النواة التي بها يرتبط الإلكترون . وبالعكس قد يحدث فوتون ذو طاقة أعلى من $2mc^2$ ، ما بالقرب من نواة ما ، زوجاً إلكترون - بروتون : أنها عملية التجسيد المادي التي رصدها اندرسون وف . جوليوت وإ . جوليوت كوري :- وندرماير Neddermeyer ، ول . ميتنر ، وك . فيليبس ، قبل الالغاء بقليل .

في كل العمليات المرصودة حتى الآن ، لا يكون الإلكترون بالضرورة « دائماً » . وحده الفرق بين اعداد الالكترونات والبوزيتونات يبقى دائماً ثابتاً في هذه العمليات .

النظرية الكمية للحقول عامة - وهكذا قامت نظرية كمية لحقل مقترن بالالكترون والبوزيتون مع عاملات خلق (توليد) وامتصاص . ويترجم الفرق المهم جداً بين الفرميونات والبوزونات بخصائص تختلف جذرياً عن جبر هذه العاملات الجديدة . وقد عممت هذه المفاهيم .

أولاً - أن كل فرميون يتوافق بالضرورة مع فرميون مضاد ، ونفس الحقل يقترن بمجمعل جزيئتين . وقد افترض شمول هذا القانون البوزونات . مع ذلك يمكن أن يتطابق مضاد الجزيئية مع الجزيئية إذا لم يكن لهذه الأخيرة أية خصوصية ذاتية جبرية (يمكن أن تتخذ الاشارتين المعاكستين) ، أي أية شحنة كهربائية . وهذه هي حال الفوتون .

ثانياً - أن نحن نتجاوزنا المزاوجات بين حقول مختلفة ، فلا يوجد أي عملية بث أو امتصاص : تبقى اعداد الجزيئات المختلفة ثابتة .

ومع المزاوجات ، يتعلق تطور مختلف الجزيئات ، بحواصل عوامل مختلف الحصول المقترنة ، مما يتسبب باستحداث وبامتصاصات بالنسبة إلى هذه الجزيئات . ويتعلق تواتر هذه العمليات بعامل هو « ثابتة المزاوجة » المماثلة للشحنة الأولية في الكهرديناميك الكمي الذي يظهر في كل واحد من هذه المتوجات . وتوجد ثابتات تزاوج بمقدار ما يوجد انماط من العمليات التي تختلف بحسب طبيعة الجزيئات .

ثالثاً - الا انه لا يمكن النظر الى أية عملية : (أ) فالمعادلات تجب كتابتها بنفس الكيفية في كل أنظمة المحاور ، المستخرج بعضها من بعض بالنقل . ويتج عن ذلك ، أوتوماتيكاً ، قوانين حفظ معتادة في الديناميك : حفظ الطاقة والنخضة ، وحفظ العزم الحركي الكامل . ويقضي هذا الحفظ ان تبث الفرميونات أو تمتص أزواجاً أزواجاً ، بسبب خصائص العزم الحركي في الميكانيك الكمي : ان العزم الحركي المداري الذي يضاف إلى الدوران ، هو دائماً كامل : بوحدات الـ $\hbar/2\pi$. ويجب أن يكون للمعادلات نفس الشكل في كل الأنظمة المتحركة بحركة واحدة بعضها تجاه بعض ، وفقاً لمبدأ النسبية الضيقة . وهذا يجر الديناميك النسبي ، « أثر الرقاصي » فوق أزمنة الجزيئات غير المستقرة المتحركة ، وكذلك يجر القاعدة المعروفة بـ PCT (انظر لاحقاً) .

ب) توجد مبادئ حفظ : حفظ الشحنة الكهربائية ، حفظ الباريونات أو الجزيئات الثقيلة (ويقتز ، 1953) . وليس من الممكن الحفاظ على مبادئ الحفظ منفصلة بالنسبة إلى كل نمط جزئية ومضاد الجزئية المقترن .

عُرفَ منذ اكتشاف الترون سنة 1932 ، تفكك β : $(n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu})$ ؛ في هذا التفاعل ، يتحول الترون إلى بروتون مع بث زوج من الفرميونات : الكترون ونوترينو من الدوران $1/2$ وكتلة عدَم في حالة السكون .

وفيما بعد تم اكتشاف الهبيرونات ، الأكثر تزعزاعاً من الترون (الحيات الوسطية من عيار 10^{-10} من الثانية بدلاً من ألف الثانية) ، والتي يمكنها أن تتحول إلى نترونات وبروتونات .

في كل العمليات المعروفة يبقى عدد الباريونات (نترونات + بروتونات + هيرونات) المنقوص بعدد الباريونات المضادة ، ثابتاً . وتقبل صحة شمولية هذا المبدأ الذي يتوافق مع استقرارية المادة بالمعنى الشائع مانعاً من تحقق تفاعلية مثل : $(p \rightarrow e^+ e^- + e^+)$.

القوى النووية - التفاعلات القوية - أولاً - كشفت دراسة النواة عن قوى من نمط آخر غير القوى الكهرمغناطيسية ، وبخاصة الكهربية (الكهرستاتيك) التي تتحكم بالالكترونات الذرية . ان هذه القوى الجاذبة تفسر تماسك الترونات والبروتونات داخل النواة (رغم التدافع الكهرثابت بين البروتونات) .

وبعكس ما هو الحال في القوى الكولومية (الكهربية) ، فمداها قصير جداً (من عيار 10^{-13} من السنتيمتر) فلا يحس بها خارج النواة . وبالمقابل ، فانها اكبر زخماً : ان طاقة الالتحام الوسطي في النكليون (نرون أو بروتون) داخل النواة هي من عيار (10 MeV) ، في حين ان طاقة الالتحام في نرون ذري سطحي هي من عيار 10ev ، أي أقل وأضعف بمليون مرة .

وأدت الخصائص العامة في النوى (ثبوتية الثقل النوعي ، وطاقة الالتحام في النكليون) إلى الافتراض بأن لها بعضاً من خصائص الاشباع ؛ وانها ليست جاذبة الا بالنسبة إلى أزواج النكليونات في حالة من الدوران النسبي .

وتم الحصول على معلومات أكثر تفصيلاً حول هذه القوة من خلال دراسة خصائص الدوتون ، وهي نواة مركبة انما الا بسط ، وتتكون من بروتون ومن نوترون . كما قدمت أيضاً دراسة الاصطدامات بروتون - بروتون ونوترون - بروتون ، في مختلف مستويات الطاقة معلومات بهذا الشأن .

ثانياً - سنداً للمبادئ العامة في نظرية الحقول يجب أن يتوافق مع هذا الحقل من القوى الجديد بوزون جديد . وهناك علاقة بسيطة بين مدى القوة وكتلة الجزيئية الوسيطة بحالة السكون ، ان هذه الكتلة يجب ان تساوي مقي مرة الكتلة الالكترونية (فرضية الميزون ، يوكاوا ، 1935) . ولما كانت القوى النووية تمارس بين نيكوليين مطلقين يمكنهما تبادل شحنتيهما (وهذه خصوصية تتوافق مع الاشياء) ، ان هذه الجزيئية يجب ان تتوجد باشكل مشحونة إيجاباً وسلباً - وحيادياً ، اشكال اكتشفت فعلاً فيما بعد (راجع الفقرة السابقة) .

ان ثابتة التزاوج ، بين حقول النوكليون والبيون يجب أن تكون كبيرة (تفاعل قوي) وهذا لا يتيح استعمال طريقة التراجع كما في الالكتروديناميك الكمي . ولهذا ، رغم كل جهود النظرين ، لم تتطور نظرية الحقل الميزوني (Mésique) ، مع النجاح الكمي الكبير الذي أصاب هذه الطريقة ، فالتفاعلية البسيطة ظاهرياً قد تشتمل على عدد كبير من المراحل الوسيطة ، والاحتمال يبقى من نفس المستوى مهما كان هذا العدد ، مثلاً تبادل عدد ما من البيونات الوهمية بين نيكوليين .

ثالثاً - لقد بدا ان القوى تترون - نترون ، وبروتون - بروتون ، ونوترون - بروتون يجب أن تكون متماثلة بشكل محسوس . وان اعتمدت صحة هذه الخاصية ، فان القوى النووية تجهل الفرق بين الترون والبروتون ؛ ولكن في النواة ليس لنا ان نستبعد بروتوناً موجوداً بمثل حال الترون ، ويمكن القول ان الفرق الوحيد بينهما هو عدد كمي « داخلي » ذو قيمتين يُسمى « اسقاطاً » لدوران ايزوتوني (متماثل) أو اسقاط « الايزوسبين Isospin » تشبهاً بالنوران .

ولكن هذه الكمية لا تتطابق مع خصوصية زمنية مثل الدوران (Spin) ، وهي خصوصية تحول مكونات دالة [وظيفية] الموجة بواسطة تغير المحاور . ولا تبقى لها طبيعة عزم حركي ولا هي تنسجم معه . الا ان (الايزوسبين) تتراكب فيما بينها كترابك العزوم الحركية ، ولها نفس الخصائص الجبرية .

ويفعل ان القوى النووية لا ترتبط بالايزوسبين ، فان هذه تبقى ثابتة في كل التفاعلات المرتبطة بها . ومن خلال النظر في تبادل البيونات ، نرى ان هذه تتطابق مع الايزوسبين رقم واحد (1) ، وذلك بالتوافق مع الاشكال الثلاثة : π^+ ، π^0 ، π^- .

وبالمقابل تفرق القوى الكهرمغناطيسية بين قيم « اسقاط » الايزوسبين ، هذه القيم التي تتطابق أو تتوافق مع شحنتات مختلفة . فكل قيمة من قيم الايزوسبين توافقها « مجموعة » من الحالات المرتبطة بمختلف القيم الممكنة التي يتخذها « اسقاطها » ، ويكون لهذه المجموعة شحنتات كهربائية مختلفة ؛ وبالنسبة إلى النوى تشكل مجموعات من متساويات الضغط وتصنف الهيرونات أيضاً ضمن هذه المجموعات من الجزيئات التي لها نفس الكتلة المحسوسة ، بشكل نترون وبروتون . وينطبق هذا المفهوم على الباريونات وعلى الميزونين π و K ، وعلى كل الجزيئات التي تتزاوج حقولها بفعل التفاعلات القوية ، من ذات الصنف ، صنف نكليون - بيون ، وتحفظ بالايزوسبين .

التفاعلات الضعيفة ، الانشطار β - هناك نمط آخر من التفاعل تكشف بفعل دراسة النوى ، هو التفاعل المطابق لبث المزدوج « الكترون - نوترينو » مع تحويل (1) الترون إلى بروتون ، في الانشطار

β^- . وكذلك نحصل في النواة على: $p \rightarrow n + e^+ + \nu$ (2) وفيها تمثل ν عكس أو نقيض $\bar{\nu}$ الواردة في (1) .

وقد اكتشف وجود النوترينو من قبل بولي Pauli سنة 1931 لتوضيح حفظ الطاقة ، والعزم الحركي . وتعتبر كتلته في حالة السكون معدومة ككتلة الفوتون . وعرض فرمي نظريته سنة 1936 .

ويقتضي التوافق مع الحقب التجريبية ، هنا ثباتاً في التزاوج فيما بين الحقول المشتركة في الجزيئات الأربع الموجودة في (1) وفي (2) ، ثباتاً أصغر بكثير من ثبات الالكتروديناميك (وهكذا تنتقل حقب الانتقالات الأكثر احتمالاً ، من عيار 10^{-10} ، من الثانية في γ إلى بعض الأيام في β) . ثم ان حساب الاضطرابات يتم بسهولة ويمكن ان يقصر على التفاعلات الأكثر بساطة . ومن جهة أخرى ان المبادلات بين ازواج $(e - \nu)$ لا تقدم أية قوة بين النكليونات قابلة للرصد عملياً .

ومع ذلك فقد اقتضى تحديد الشكل الدقيق للتفاعل العديد من الاعمال التجريبية والنظرية حول قواعد الانتقاء (علاقة الحياة الوسطى بتغير العزم الحركي في النواة عند الانتقال β) واشكال أطيف الطاقة في الالكترونات المطابقة لمختلف تبدلات العزم الحركي (خاصة منذ 1945) . وهذا الشكل لم يكن توضيحه تماماً إلا بعد اقتراح قدمته د . د . لي T. D. Lee وش . ن . يانغ C. N. Yang سنة 1957 حول تفاعل « غير ثابت بالتناظر الفضائي » ، بعكس التفاعلات الكهرومغناطيسية والنوية ، وهي فرضية اثبتها حالاً تجربة ش . س . فو C. S. Wu ، حول نوى الكوبالت 60 الموجهة في درجة حرارة الهليوم السائل .

قاعدة PCT - نرمز بحرف P إلى عملية التناظر الفضائي بالنسبة إلى نقطة (معادلة لدوران من 180 درجة تقريباً ، لتناظر بالنسبة إلى سطح) ، ونرمز بحرف C إلى العملية التي تغير كل الجزيئات الموجودة فتحولها إلى عكسها ، ونرمز بحرف T إلى عملية « قلب الزمن » التي تغير اتجاهات كل النبضات (السرعات بالتعبير الكلاسيكي) ، كما تغير الامتصاص إلى بث ، وبالعكس (انظر الصورة رقم 23) .

ونلاحظ ان T تغير اشارات العزوم الحركية أما P فلا . ان اشارة عزم حركي ساقط على Ox باتجاه الدوران حول Ox ، و Ox لا تتغير الا من قبل T . و Ox هي عامودية على سطح الصورة .

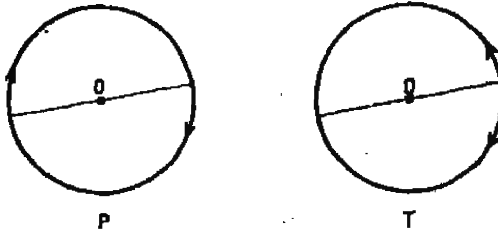
والمبدأ المطروح بالنسبة إلى عكس الجزيئات يعني وجود تكافؤ كامل بين التفاعلات المستخرجة الواحدة من الأخرى بفعل حاصل PTC في ثلاث عمليات .

وبالنسبة إلى التفاعلات المعقدة ، تغير T ترتيبها في الزمن ، وقد بين بولي ولودرس Lüdres ، كل على حدة سنة 1956 ، ان الثبات عن طريق PTC ، يبقى دائماً محترماً مهما كانت التفاعلات المناسبة للثابتية النسبية . والاكتشاف التجريبي لعكس البروتون ثم لعكس النيوترون سنة 1955 من قبل سيفريه Segre ، قد بحث بهذه الاعمال النظرية .

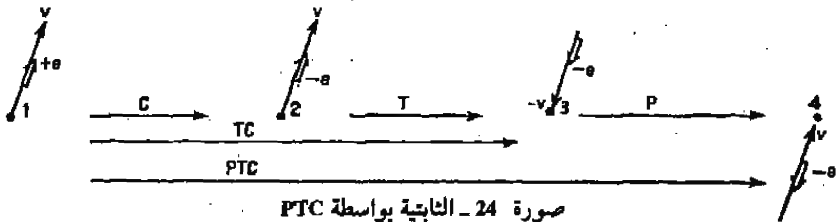
ثابتية P و C في التفاعلات الكهرومغناطيسية والقوية - ان معادلات الالكتروديناميك أو الكهرباء المتحركة تتغير بفعل P . وينتج عن ذلك ان أنظمة تناظرية يكون لها بالضرورة نفس الطاقة ، وان التفاعلات التناظرية هي أيضاً ممكنة .

في النظرية الكمية ينتج عنها قاعدة مهمة هي قاعدة « حفظ التكافؤ » . ونبين انه اذا كانت المعادلات هي ثابتة (P) ، فان حقلاً ما يمكن ان يضرب فقط ب ± 1 عندما نجري تناظراً فضائياً .

وهكذا يقترن كل حقل « بتكافؤ داخلي » ، ويتكافؤ مداري ، في حالة حركة معينة من حالات الجزيئية المحددة أو الممتصة . ويبقى حاصل تكافؤات كل الجزيئات المحاصرة ثابتاً .



صورة 23-عمليات P و T



صورة 24 - الثابتة بواسطة PTC

ان 1 هي عملية بث لبوزيتون له سرعة تبلغ v - واتجاه دورانه المسقط على v مؤشر اليه بالسهم المزدوج . وبتطبيق P, T, C نستخرج التفاعلات : 1, 2, 3, 4 التي تقتضي وجود الكترون .

وهي ظاهراً لا تتغير بفعل C : كل الشحنات تتغير اشارتها (وكذلك الحقول) . وأخيراً تشكل T لا متغيرات ، كما هو حاصل من التناظرات السابقة .

وكان يُظن حتى سنة 1957 ان كل الظواهر الفيزيائية كانت لا متغيرة ولا تتغير كل على حدة بفعل العمليات الثلاث . وتُظهر القوى النووية نفس اللاتغيرية . وبالمقابل ان التفاعلات الضعيفة قد انكشفت في سنة 1957 ، لا بشكل ثوابت P ولا بشكل ثوابت C . ان اللاتغير عن طريق P يجر وراءه عدم حفظ التكافؤ في العمليات المطابقة . في حين تتكاتف وتتوافق كل التجارب مع اللاتغير T وإذاً مع اللاتغير PC . ان اللاتغير بفعل P يظهر بشكل بارز بالنسبة إلى النوترينو Neutrino المنبثق والذي لا يوجد الا في حالة « يسار » من حالات التدويم المناقض للدفع ، كما أظهرت ذلك تجربة قام بها غولد هابر Goldhaber سنة 1958 . ان نقيض النوترينو لا يوجد الا في حالة « يمين » .

التفاعلات الأخرى الضعيفة - تنفكك الجزيئات الأولية بتفاعلات ثابتة نزاجها هي من نفس مرتبة ثابتة Fermi بالنسبة للتفكك β . وكل هذه التفاعلات لا تتغير بتغير P ولا بتغير C .

ومن الثابت ان الحالتين : نوترون وپروتون لا تعادلان في (1) و (2) : مثل التفاعل

الكهرمغناطيسي لا تحتفظ هذه التفاعلات بالايروسبين Isospin .

ومن المغري رد هذه التفاعلات إلى تفاعل واحد ، على الأقل كل التفاعلات بين 4 فرميون Fermion (تفاعل كوني قاب به فرمي) . وللأسف لا يمكن اعتبار عمليات التفاعلات الضعيفة بمعزل عن التفاعلات القوية عندما تنفك الجزيئات القوية (وهي جزيئات ذات تفاعلات قوية : باريونات وميزونات π أو K) .

ان استقلالية التفاعل الكهرمغناطيسي تُعزى إلى :

أولاً - ان ثابتة التزاوج هي الشحنة الكهربائية الخاضعة لمبدأ حفظ .

ثانياً : ان المعادلات تتوافق مع « ثبوتية المعيار » المرتبطة أيضاً بكون الكتلة في حالة سكون الفوتون معدومة .

لا توجد خصائص متشابهة تماماً مع التفاعلات الضعيفة .

اللبتونات - توجد جزيئات ليس لها الا تفاعلات ضعيفة وكهرمغناطيسية : الالكترون والتورينو والميون Muon (المسماة سابقاً ميزون μ) ذات الكتلة المساوية لـ $200 m_e$ مع ما فيها من مضادات الجزيئات .

بالنسبة إلى هذه الجزيئات لا يمكن إذاً تعريف الايروسبين . وقد تم أيضاً تقديم مبدأ حفظ اللبتونات (e^-, μ^-, ν) مثلاً اعتبرت كلبتونان واعتبرت e^+, μ^+, ν كمضادات للبتونات (المشابه لمبدأ حفظ الباريونات) .

وينفك الميون إلى الكترون وإلى نوترينو مزدوج . وقد أثبتت تجربة جرت في بركلي سنة 1962 ان هذا الأخير ذو خصائص مختلفة وان أحدهما يجب أن يتحد مع الالكترون والآخر مع الميون .

استنتاج حول التفاعلات ونظرية الحقول : - في اطار النظرية الكمية للحقول تظهر إذاً ثلاث مجموعات من التفاعلات متمايزة تماماً . والجدول التالي يبين ان التناظر العام يتناقص مع قوة التفاعل :

حفظ الايروسبين	التناظر	التفاعلات
نعم	لا متغيرات بفعل C و P كلاً على حدة وبالتالي مع أو بفعل T	قوية
كلا (مع عدم اعتبار الايروسبين إلا بالنسبة إلى الجزيئات القوية)	لا متغيرات بفعل C, P كلاً على حدة وإذاً مع أو بفعل T	كهرمغناطيسية
كلا (ومشابه لما ورد اعلاه) .	لا متغيرات بفعل PC فقط وإذاً بفعل T	ضعيفة

يوجد تفاعل أضعف بكثير من التفاعلات الضعيفة : ان الانجذاب لا يظهر عملياً ، لهذا السبب ، على الصعيد الميكروسكوبي . فهل تدخل ضمن الرسيمة العامة للنظرية الكمية في الحقول أم أنها خاصة فقط هندسية يختص بها الفضاء - الزمن كما تزعم النسبية المعممة التي قال بها انشتين ؟ انها مسألة غير محلولة . فالجذب إن دخل في الاطار الكمي فهو يتشرب فعل جزئية من دوامة 2 سُميت جاذباً Graviton . وكما هو الحال بالفوتون يجب ان يتلقى الجاذب فعل الجذب سندا لمبادئ النسبية . ويجب ان يتزاوج الحقل مع نفسه : وهي معادلات غير خطية (كمعادلات انشتين) قلما يُعرف اتجاهها بواسطة عوامل الحقل⁽¹⁾ . يجب ان نلاحظ انه لم يتم اكتشاف موجة جاذبة يمكن قرنها بجاذب حقيقية .

انه من المرضي التوصل إلى تصنيف التفاعلات بين العديد من الجزيئات « الاولى » ، أملاً بتقليصها ربما إلى ثلاثة (أو أربعة) بما فيها الجذب .

ومع ذلك فقد أغفلنا العديد من الصعوبات العامة في النظرية . والشكل الأكثر كمالاً هو ما يسمى بالالكتروديناميك الكمي . ففي هذا الأخير تؤدي التفاعلات ذات المستوى العالي ، في أغلب الاحيان إلى « كوارث فوق بنفسجية » (نتائج لا متناهية بسبب التدفقات العالية ، تدفقات الجزيئات الوسيطة) . انه فقط حوالي سنة 1946 تمت معرفة التغلب على هذه الصعوبة بعد اكتشاف مفعول « لامب » Lamb سنة 1945 . هذا الانفصال الضعيف جداً في مستوي ذرة الهيدروجين المختلطين بموجب نظرية ديراك ، امكن اكتشافه بواسطة تقنية امتصاص الموجات الهرتزبية المستمرة . . وقد فسر بيث «Bethe» هذا الفرق بأنه اختلاف مفاعيل الحقل الكهرمغناطيسي الخاص بالالكترون في حالة ربط وفي حالة حرية . وكل من هذه المفاعيل هو في الواقع لا متناه بالنسبة إلى الالكترون النقطي . وباستخدام حسابات تحفظ في كل مرحلة اللاتغير النسبي الذي طوره توموناغا Tomonaga ، ثم شوينجر Schwinger ، وفيلمان ، أعطى ديزون Dyson نظرية متماسكة نوعاً ما تبرر هذه التقيصات من الكميات اللامتناهية : رسمت هذه النظرية اعادة التسوية . وقد بسط فيلمان أيضاً منهج الاضطراب حين عالج بحساب واحد خطوطاً بيانية مثل خطوط الصورتين (22) و (23) في العمليات الوسيطة . وأدت هذه التقنيات الحسابية إلى نتائج ذات دقة متناهية .

إلا أنه يبدو ان التناقضات ما تزال مستمرة في الكهرمغناطيسية (فتعقيدات العمليات الأكثر عمومية لا تسمح بالبث بها يقيين) وهي تناقضات لا تشبه النتائج الحاصلة من جراء تفاعل ضعيف نوعاً ما . ويمكن القول بمثل هذا أيضاً فيما يخص التفاعلات القوية . وأخيراً ان هذه الاخيرة لا يمكن ان تعالج كميّاً ، إلا بواسطة « موديلات » مبسطة تحتوي على فرضيات كيفية عشوائية ، متناقضة في أغلب الاحيان .

(1) وقد حاول هينبرغ منذ 1950 عدة مرات أن يصور كل العمليات بمثل هذا الحقل الوحيد . ولم يستطع حتى الآن أن يستخلص من هذه المعادلات غير الخطية أي نتيجة أكيدة تتوافق مع الواقع .

وعلى العموم تقدمت الفيزياء النظرية عندما استطاعت أن توحد التنبؤ والفهم بالنسبة إلى عدد كبير من الظواهر ، وذلك بعد أن تُرجم هذا التوحيد بعدد قليل من الثابتات الأساسية .

وحتى الآن ، ومن الميكانيك الكلاسيكي النيوتني إلى الميكانيك الكمي ، تقدم هذا التوحيد على حساب الصفة « المحددة والملموسة » . وهذه الصفة المتزايدة التجريد والجبرنة (بعد أن احتفظت النسبية بصفة هندسية جيومترية) تأت من البعد المتزايد عن المفاهيم المبسطة تبسيطاً يلائم العالم على مستوانا .

ان النظرية الكمية حول الحقول كانت مرحلة جديدة تصور بشكل افضل هذه الصفة الجبرية التجريدية . ولكن إذا اعترض نوع من توحيد التفاعلات ، فلا يمكن القول ان هذه النظرية تقدم الكثير من الوحدة وذلك بسبب الضخامة النسبية في عدد الجزئيات الأساسية ، التي لكل منها حقله الخاص . ويتوافق مع كل منها ثابتة واحدة على الاقل : كتلتها الخاصة . والنظرية المستقبلية يجب ان توحد أكثر فأكثر الجزئيات الأولية وتفاعلاتها . وهناك فكرة مغرية هي ان الكتلة الخاصة (او الطاقة الخاصة) في كل جزئية تتأى من تفاعلها مع كل الجزئيات الأخرى . وهذا يتوافق مع كون الجزئيات « القوية » تمتلك الكتلات الأكثر ضخامة . الا ان الميون Muon يمتلك على ما يبدو نفس التفاعلات التي يمتلكها الالكترون ، ولكنه يمتلك كتلة قريبة من كتلة البيون Pion . وعلى كل لا تتيح النظرية الحالية تقديم أي تفسير للكتل الخاصة . ويؤمل انبثاق معلومات تجريبية ضرورية عن دراسة تفاعلات الطاقات الكبرى التي تتيح أيضاً استكشاف مناطق في الفضاء ذات اتساع متزايد الصغر .

الكيمياء

I - حالة الكيمياء في سنة 1900

في مطلع القرن العشرين عرفت الكيمياء فترة تطور زخيم . فالشكوك حول الأوزان الذرية وحول المعادلات ، وحول البنية الجزيئية والتصنيف قد زالت بعد منتصف القرن التاسع عشر بقليل بفضل العلماء كانيزارو Cannizzaro وكي كولي Kekulé ولوتارماير Lothar Meyer وورتز Wurtz ومندلييف Mendéléev . عرفت الكيمياء بعد ذلك تقدماً سريعاً ، في الإطار النظري كما في الإطار العملي . وأظهرت الكيمياء العضوية نشاطاً خاصاً ، ولكن في مطلع القرن اجتذبت الكيمياء الفيزيائية الانتباه بشكل خاص على أثر الأعمال التي تناولت المحاليل السائلة ، وتطبيق مبادئ الترموديناميك على الكيمياء . وكان لاكتشاف النشاط الإشعاعي في السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر تأثير عميق على النظرية الذرية ، ثم على مختلف قطاعات الكيمياء التجريبية والنظرية .

وأظهرت المجالات الأخرى في الكيمياء نشاطاً أقل . واستمر المتخصصون في الكيمياء المعدنية في اكتشاف عناصر جديدة ومركبات جديدة ولكن بحوثهم افتقرت إلى وجود نظرية عملية ومتناسكة حول الترابط الكيميائي . ان الكيمياء التحليلية تقدمت بشكل خاص بفضل أعمال باحثين في مجالات أخرى تخيلوا مناهج جديدة وسبلاً جديدة للمقارنة ، ذات علاقة بمشاكلهم الخاصة التجريبية والنظرية واستخدمت معدات مثل مقياس الاستقطاب ومقياس اللون والمطياف منذ عدة عقود . ولكن استخدامها ظل مقتصرأعلى الناحية العملية الخالصة .

وما ان خرجت الكيمياء البيولوجية من المرحلة الوصفية حتى احتفظت بصفاتها الجمودية ، مهمة بشكل متزايد بأنماط المركبات الموجودة في الأنسجة الحية أكثر من اهتمامها بوظائفها .

ومن ناحية تطور الكيمياء ، يُمكن تقسيم القرن العشرين إلى حقتين مختلفتي السمات تماماً . فحتى نهاية الحرب العالمية الأولى ظلت الكيمياء قريبة جداً من حالها الذي كانت عليه في أواخر القرن الماضي .

وبخلال هذين العقدين احتلت المانيا مركزاً مهيمناً في مجالات البحث ، والتعليم ،

والتشطيق العملي ، إلى درجة أن الدول المتحالفة أعيقت في جهودها من جراء تخلفها في هذا المجال .

وقضت ضرورات مرحلة الحرب العالمية الثانية ، وبسرعة ، بتغيير هذا الوضع ، واستمرت هذه الحركة بعد الحرب مما طُور الكيمياء بقوة في مختلف أنحاء العالم .

وبخلال العقود الأربعة التي تلت الحرب العالمية الأولى تبنى البحث الكيميائي موقفاً أكثر حيوية فاهتم بالتحويلات الكيميائية أكثر من اهتمامه بمشاكل التركيب ، رغم عدم إهمال هذه المشاكل . وأدت دراسات الكيمياء الإشعاعية والمطيافية إلى تطوير النظريات حول البنية الذرية ، مما أدى ، رغم تطورها المستمر ، إلى تأويل أكثر إرضاءً للظواهر الفيزيائية والكيميائية . وانطلاقاً من هذه المفاهيم الذرية ، وضعت نظريات حول الترابط الكيميائي ، أمكن تطبيقها بنجاح مرض على أهم طبقات المواد الكيميائية المعدنية والعضوية .

وأدى تطبيق مختلف النظريات الفيزيائية ، مثل الترموديناميك والميكانيك الكمي والميكانيك الثابت على المسائل الكيميائية ، إلى حدوث تقدم مهم .

ولتبع تطور الكيمياء في القرن العشرين من الضروري تفحص تطور فروعها الرئيسية . فهذه المجالات الخاصة ، بعد تحديدها تماماً منذ بداية القرن ، احتفظت بمواقعها رغم أن الاتجاه نحو التجزئة ، المتزايدة دائماً ، والأكيدة في القسم الأول من القرن ، قد ضعف قليلاً ، وفي منتصف القرن ظهر بوضوح أن مختلف فروع الكيمياء يمكن أن تستفيد من تبادل في الأفكار متقابل . ورغم أن تأهيل الكيميائيين استمر متميزاً بالتخصص الباكر والمعتمق ، ظهرت بوادر تفهم واسع لأهمية البحوث المشتركة بين مختلف المجالات ، بحوث تستعين ليس فقط بمختلف فروع الكيمياء ، بل تستعين أيضاً بالرياضيات والفيزياء والبيولوجيا .

II - النشاط الإشعاعي وانعكاساته الكيميائية

1 - من العناصر المشعة إلى النظائر المشعة

النشاط الإشعاعي واكتشاف النظائر المشعة - في القرن العشرين تأثرت كل فروع الكيمياء باكتشاف النشاط الإشعاعي الذي توصل إليه هنري بيكريل Henri Becquerel سنة 1896 . ولن نمود إلى هذا الاكتشاف ولا إلى اكتشاف البولونيوم والراديوم ، أو اكتشاف مختلف العناصر المشعة وما ينبثق عنها ، والتي سبق ذكرها في الفقرة الأولى من الفصل السابق .

إن عزل المواد الأخرى المشعة بخلال العقد الأول من القرن العشرين أكد الرأي الصادر سنة 1902 عن أ . روزفورد ومفاده أن العناصر المختلفة المشعة تخضع لسلسلة من الانشطارات المؤدية إلى إنتاج عناصر جديدة . ولكن بما أنه من المستحيل غالباً فصل عنصر مشع بواسطة الكيمياء عندما يكون هذا العنصر ممتزجاً بعنصر معروف (الراديوم مع الرصاص مثلاً) حمل على الاعتقاد بأن الذرات المشعة يمكن أن تكون أشكالاً متنوعة مختلفة من عناصر معروفة تماماً .

وتبين بصورة تدريجية ان مختلف سلاسل الانشطارات المشعة تنتهي بتحول نهائي إلى ذرات من الرصاص . ولكن العديد من المراقبين لاحظوا ان الأوزان الذرية لأنوار الرصاص الحاصل انطلاقاً من مختلف المصادر لا تتوافق فيما بينها . وفي المختبر في هارفارد الذي اشتهر في تحديد الأوزان الذرية فحصت . و . ريتشاردس عينات من الرصاص منبثقة عن ركازات متنوعة مشعة . وبين ان أوزانها الذرية تتراوح بين 206,4 و 208,4 ، في حين ان القيمة العادية هي 207,2 . وتم الحصول على نتائج مماثلة في مختبرات أوتوهونيشميدت وموريس كوري .

وكون بعض الأنواع المشعة لا يمكن فصلها عن عناصر عادية بين بصورة تدريجية انه ، خلافاً لأفكار دالتون ، ليست كل ذرات عنصر معين متماثلة فيما بينها . وفي سنة 1913 أطلق ف . سودي Soddy اسم نظائر مشعة على الذرات التي تحتل نفس المكان في الجدول الدوري وتمتلك نفس السلوك الكيميائي وان اختلفت قليلاً في خصائصها الفيزيائية . وأثبتت الأعمال التي جرت ابتداء من سنة 1919 بفضل فرانسيس أستون Aston وجود نظائر مشعة حتى في حالة وجود عناصر ثابتة مستقرة ، وهو أمر استبقه ج . ج . طومسون منذ 1913 (راجع الفقرة IV) .

احداد واستخدام النظائر المشعة - عندما أثبت روذرفورد في تجاربه التي اجراها سنة 1919 تحول الأزوت إلى أوكسجين بتأثير من اطلاق جسيمات ألفا ، بُذل جهد خاص للحصول على تحولات أخرى . وبخلال العقد التالي عشر على تحولات وأعلن عنها ، ولكن انطلاقاً من الثلاثينيات أمكن تحقيق تجارب على مستوى كبير (راجع أيضاً دراسة م . لانجيفان ، الفقرة الثانية في الفصل السابق) . وساعد بناء مسرعات قوية للجزيئات حوالي سنة 1932 واكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي من قبل ا . جوليوت - كوري وف . جوليوت سنة 1934 على فتح حقبة جديدة في البحث الكيميائي بفضل ما قدمه هذا الاكتشاف وهذا البناء من أجل الحصول على نظائر مشعة قادرة لكي تستخدم من أجل وسم المواد الكيميائية وتتبع مسارها بخلال التفاعلات الكيميائية والبيولوجية والصناعية .

ووضعت التجارب الأولى التي تستخدم الراسمات المشعة ، بعد قليل من تاريخ توضيح مفهوم الايزوتوب من قبل جورج فون هيفسي Georg Von Hevesy ومن قبل ف . آ . بانث F. A. Paneth اللذين استعملوا الراديوم لتحديد ذوبانية بعض أملاح الرصاص (1913) . في سنة 1918 استعمل بانث نظائر مشعة من الرصاص والبيسموت لدراس خصائص المركبات غير المستقرة في هذه العناصر . وفي سنة 1923 ، استعمل هيفسي الثوريوم ^{232}Th لدرس تمثل الرصاص من قبل النباتات . الا ان استخدام مثل هذه الراسمات بقي محصوراً طالما لم يكن بالامكان استعمال الا النظائر المشعة بصورة طبيعية .

وتحسن هذا الوضع سنة 1935 عندما أمكن انتاج نظائر مشعة بصورة اصطناعية ، وبكميات صغيرة ، بفضل استخدام سيكلوترونات ومسرعات خطية ومصادر نيترونات تتيح كلف عناصر ثابتة بقذائف من البروتونات . واطلق هيفسي وو . شيوتز O. Chiewitz استخدام النظائر المشعة الصناعية في البيولوجيا حين درس تمثل الفوسفور 32 من قبل النباتات . والدراسات بواسطة

الراسمات تطورت بفضل توافر النظائر مثل السوديوم 24 والكبريت 35 والحديد 55 واليود 131 .

فضلاً عن ذلك قامت بحوث مهمة بواسطة نظائر مستقرة خاصة الدوتيريوم ، وهو نظير ثقيل من الهيدروجين اكتشف سنة 1932 من قبل هـ . أوربي H. Urey . وفي سنة 1935 بدأ ر . شوننهيم R. Schoenheimer دراسات حول عملية الأيض بالنسبة إلى الشحومات في الجسم الحيواني . قام شوننهيم بتغذية جرذان بشحوم موسومة بالدوتيريوم ، ثم قتل هذه الحيوانات وحرق أنسجتها وحدد كثافة بخار الماء الحاصل وذلك من أجل تحديد مكان البرسوبات وتحول الشحوم .

وقام شوننهيم أيضاً بدراسة أيض الأزوت ، فوسم عدة أسيدات أمينية بواسطة أزوت 15 المستقر ، والفرق في الثقل بين هذا النظير والأزوت العادي ضعيف للغاية فلا يمكن اكتشافه بصورة مباشرة .

وامتد استعمال النظائر إلى الكيمياء وإلى البيولوجيا وإلى الطب وإلى الصناعة ثم بسرعة بخلاف السنوات التالية خاصة بعد سنة 1945 عندما أمكن الحصول على نظائر مشعة من كثير من العناصر بواسطة قذفها بمواد خاصة بواسطة النيوترونات (أو النترونات) وذلك في المفاعلات النووية . وأتاح اكتشاف الكربون 14 تقديم نظير مشع من الكربون الذي رغم حياته الوسطى البالغة 5760 سنة ورغم ضعف إشعاعه فقد أتاح القيام بحوث تتبعية تتعلق بالهندسة البنائية الفحمية في المركبات العضوية (أنظر الفقرة الرابعة من هذا الفصل) .

2 - بنية الذرة :

الثبت من حقيقة البنية الذرية - منذ مطلع القرن كان من المؤكد ان ذرات مختلف العناصر قد يكون لها مكونات مشتركة . وبخلال العقود الأخيرة من القرن التاسع عشر أدت دراسة التوصيلية الكهربائية في الغازات إلى اكتشاف أشعة موجبة ، وبت الكترونات . ونحن نعرف (راجع بهذا الشأن دراسة ب . مارسين وج . ميزك في الفقرة I من الفصل IX) انه في سنة 1897 قام ج . ج . طومسون بتبيين ان الأشعة الكاثودية في الأنابيب ذات التفريغ مكونة من جسيمات خفيفة جداً شبه شحنتها السالبة بالشحنة التي يحملها ايون وحيد الطرف اثناء التحليل الكهربائي . وأدت القياسات متزايدة الدقة التي أجريت على الشحنة e والنسبة بين الشحنة والكتلة e/m للالكترون ، إلى تثبيت m في حوالي $\frac{1}{1845}$ من كتلة ذرة الهيدروجين .

منذ بداية القرن جرت محاولات مختلفة لوضع نظرية بنوية حول الذرة . وابتكر ب . لينارد سنة 1903 الفكرة بأن الذرة تتكون من جمع من « الديناميد » ، وهي أشكال من الأقطاب المزدوجة المادية المحصورة ضمن غلاف جامد ، واقترح الفيزيائي الياباني هـ . ناغاووكا نموذجاً زحلياً : كرة موجبة محاطة بهالة من الالكترونات . وفي سنة 1904 اقترح ج . ج . طومسون نموذجاً كروياً موحداً في إيجابيته وفي الكترونات مندمجة . وطرح العديد من الفرضيات بخلاف السنوات التالية ولكنها لم تؤد إلى نموذج مرض .

انطلاقاً من هذه التجارب التي قام بها رودرفورد حول تشتت الجزيئات ألفا بواسطة الغازات وبواسطة أوراق معدنية رقيقة ، اقترح سنة 1911 نموذج ذرة كوكبية تتمركز فيه الكتلة والشحنة الموجبة داخل نواة لطيفة محاطة بالكثرونات تدور حول مسافة كبيرة نسبياً .

العدد الذري - بخلاف العقد الأول من هذا القرن حاول ج . ج . طومسون وش . ج . باركلا ان يقيما عدد الالكترونات الموجود داخل الذرة . ولكنهما لم يحصلوا على نتيجة مقنعة . وارتكز رودرفورد على تجارب تشتت أشعة ألفا التي تحققت في مختبره فاطلق الفكرة لكثرة شحنة نووية تعادل تقريباً نصف الوزن الذري للعنصر مفترضاً تساوي عدد الالكترونات التي تدور حول النواة .

وأمكن حل الاشكال المتعلق بشحنة النواة ، سنة 1913 ، بفضل التجارب حول الأشعة السينية التي حققها هنري ج . ج . موزلي (1887-1915) . استخدم هذا الأخير عناصر متنوعة كانتيكاتود في أنبوب ذي أشعة سينية (اكس) ، ولاحظ ان طول الموجة في خطين رئيسيين من أشعة سينية صادرة عن هذا الانتيكاتود يتعلّق بالعنصر المستعمل ، وبدأت العناصر الأثقل تتوافق مع أطوال موجة أقصر . وبدأ ان الجذور التربيعية لهذه التواترات التمييزية هي دالات خطية تدل على أرقام هذه العناصر في التصنيف الدوري الذي وضعه مندليف . مما بيّن ان الاعداد الذرية كانت أكثر من مجرد أرقام تراتية داخل هذا الجدول . وأثبتت دراسة موزلي التي تناولت 39 عنصراً ترتيب هذه العناصر ضمن الجدول الدوري كما أثبتت وجود ثغرات تتوافق مع الأرقام 43 و 61 و 75 . واستخدمت تقنية أشعة اكس عند موزلي كأساس لاكتشافات الهافنيوم (72) والرينيوم (75) (أنظر الفقرة 7) .

نظرية بوهر - كانت الذرة التي قدمها رودرفورد مشوبة بعبث حقيقي . فسنبدأ لنظرية مكسويل الكهرومغناطيسية ، يجب ان يخسر الالكترون الدائر طاقة بشكل اشعاعات ، ولهذا يجب أن يتحرك بشكل حلزوني نحو النواة ومن المعلوم ان الفيزيائي الشاب الدانمركي نيلس بوهر قد توصل إلى تفسير بنية ذرة الهيدروجين وفقاً لنظرية الكانتا .

وزعم ان الالكترون الواحد لا يمكنه ان يرسم الا بعض المدارات المتاحة وانه لا يُصدر أي اشعاع طالما هو باقٍ على مثل هذا المدار . وبالمقابل ، كل امتصاص للطاقة يقتزن عند انتقاله بمدار آخر متاح ، مطابق لمستوى من الطاقة أعلى ، في حين ان كل بث للطاقة يقتزن منذ هبوطه بمدار داخلي ، مطابق لمستوى أضعف من الطاقة .

هكذا فسّر بوهر الخطوط المميزة لطيف الهيدروجين المثبتة بالقانون الرياضي المسمى بقانون ريدبرغ Rydberg المحصول عليه بناء على قواعد تجريبية سنة 1890 واستطاع أيضاً ، وينجاح نسبي ، تطبيق نهج مماثل لمناهج أخرى ، على الكترون ما ، مثل الأيونات Li^{++} و He^{++} و Be^{+++} وعلى المعادن الفلوية حيث تستطيع النواة والطبقات المشبعة بالالكترونات الداخلية ، ان تعتبر كمركز مزود بشحنة ايجابية أحادية ، على ان يعامل الالكترون الجانبي الطرفي الوحيد كالالكترون ذرة الهيدروجين . وبالمقابل ، أثارت دراسة الأنظمة ذات الالكترونات المتعددة مصاعب

كثيرة اقتضت اصلاحاً لنظرية بوهر سرعان ما بدا ضروريا .

في سنة 1915 ، ادخل آ . سومرفلد A. Sommerfeld في المانيا وو . ويلسون في انكلترا استعمال المدارات الاهليلجية . ولكن في السنوات التي تلت الحرب العالمية الأولى ، أصبحت النظرية الذرية موضوع مراجعات أكثر عمقاً (راجع الفصل I من هذا القسم) . ونحن سنكتفي بالتذكير بخلق الميكانيك التذبذبي على يدل . بروغلي L. de Broglie (1924) ثم صياغته على يدي . شرودنجر E. Schrödinger (1925) ، وادخال ميكانيك المصفوفات أو القوالب (Matrices) وصياغة مبدأ اللايقين على يد و . هيسنبرغ W. Heisenberg (1925 و 1926) ، وصياغة مبدأ الاستبعاد d'exclusion على يد و . بولي W. Pauli (1925) ، وادخال مفهوم الدوامة Spin على يد اوهلنبيك Uhlenbeck وغودسميت Goudsmit (1925) وعرض نظرية الكترون ديراك Dirac (1929) . وتوضح تلريجياً أن الالكترونات كانت موزعة في سلسلة من مستويات الطاقة . وأن المستويات المتتالية تتضمن عدداً أقصى من 2 ، 8 ، 18 ، 32 الكترون . والكترونات الطبقة الثانية والثالثة والرابعة ليست في نفس الحالة من الطاقة ؛ وأن حالة كل منها يجب ان تحدد بواسطة أربعة أعداد كمية ، وأن مبدأ الاستبعاد يؤكد ان الكترونين في ذرة ما لا يمكن ان يمتلكا نفس مجموعة الاعداد الكمية . فضلاً عن ذلك ، ان تبني مبدأ اللايقين يؤدي إلى التخلّي عن المدارات الدقيقة التي وضعها بوهر Bohr من أجل النظر إلى المدارات ذات الثلاثة أبعاد ، وهي مناطق تحيط بالنواة وفيها يبلو الالكترون الممتملك لمجمل معين من الاعداد الكمية ، واجب الوجود وياحتمالية كبيرة جداً .

الارتباط الكيميائي - رغم ان المفاهيم الجديدة حول بنية الذرة ذات طبيعة أساساً فيزيائية فانها قد طبقت بسرعة في الكيمياء ، خاصة فيما يتعلق بموضوع الارتباط الكيميائي . فعقب 1916 أخذت الرسيمات الالكترونية تلعب دوراً مهماً في المناقشات حول الطبيعة الكيميائية . فقام و . كوسسل W. Kossel في المانيا وج . ن . لويس G. N. Lewis وأ . لانغموير I. Langmuir في الولايات المتحدة يجذب الانتباه إلى الاستقرار الاستثنائية في الطبقة الطرفية ذات الثمانية الكترونات في ذرات الغازات النادرة : نيون ، ارغون ، كريبتون وزينون . وظن يومئذ ان الذرات المعدنية يمكن أن تولد مثل هذه التشكلات وذلك بطرد الكتروناتها الطرفية ، وكذلك بالنسبة إلى الذرات غير المعدنية عن طريق أسر الكترونات مكتملة . وأدى هذا التحول إلى أيونات مشحونة إيجاباً في الحالة الأولى ، وإلى أيونات مشحونة سلباً في الحالة الثانية ، أما الأيونات ذات الشحنة المضادة فإنها تستطيع عندئذ ان تجذب احداها الأخرى لتشكل اتصالاً مستقرّاً . وتفسر هذه النظرية تشكل الاصلاح ، ولكنها تنبئ أيضاً عن وجود أيونات في المحلولات ، وهي مسألة بقيت غامضة نوعاً ما ، منذ ان صاغ ارهنيوس Arrhenius ، سنة 1886 ، نظرية التأين .

وطور لويس Lewis أيضاً نظرية « مزدوجات الالكترونات » لكي يفسّر تركيب الذرات غير المعدنية . إن الارتباط بواسطة « مزدوجات الالكترونات » في المركبات التشاركية اتخذ معنى أوضح ، عندما بين سنة 1925 الفيزيائيان النهرلنديان ج . ي . اوهلنبيك G. E. Uhlenbeck وصمويل غودسميت S. Goudsmit ان بعض الخصائص في الذرة يمكن ان تفسر بافتراض ان الالكترونات تدور حول محورها . وبما ان هذا التمحور (Spin) يمكن أن يتم ضمن نفس الاتجاه،

أو باتجاه معاكس لدورانها في مدارها ، فإن زوجاً من الالكترونات المتمحورة باتجاه معاكس يمكن ان يكافئ احدها الآخر من حيث التأثير . وبينت دراسات لاحقة ان المدار المحدد للذرة ما يمثل ما عندما تحتله ذرتان متعارضتا التدويم أو الدوران ، مما يشكل شرطاً في الاستقرار الأقصى . ونجح ج . ن . لويس في اقران نظرية طوعية المغناطيسية المسيرة ونظرية الالوان بوجود الالكترونات غير مقترنة .

وأثناء أعمالهما الأولى حول الارتباط الكيميائي ، لجأ لويس ولانغموير إلى نماذج مكعبة جامدة . ثم استبدلت هذه المكعبات فيما بعد بتأويلات أكثر راحة ، ولكن الثمانية octet المستقرة والارتباط بواسطة المزدوج الالكتروني لعبا دوراً مفيداً جداً في وضع نماذج جزيئية .

ان مفهوم التشارك Covalence البسيط بدا غير كافٍ للدلالة على ارتباطات العناصر في العديد من المركبات ، ولكن توسيعه أتاح التغلب على بعض هذه الصعوبات . ان مفهوم الارتباط التوافقي Liaison de Coordinance أدخل من أجل الارتباط التي يكون فيه الكترونا المزدوج المقسوم ناجمين عن ذرة واحدة ، في حين ان الذرة الأخرى يلتصق فيها فقط من أجل اكمال طبقته الطرفية من الالكترونات لجعل منها ثمانية مستقرة . ولعب الانكليزي ج . ن . سيدويك J. N. Sidgwick دوراً مهماً في صياغة هذه الأفكار (أنظر الفقرة V) .

ويعد أن أدخل شرودنجر Schrodinger معادله الشهيرة التي تعبر عن حركة الالكترونات ، تم اقتراح ثلاثة مناهج بأن واحد من أجل تقديم حل قريب لهذه المعادلة في حالة الجزيئات .

وفسر و . هايتر W. Heitler وف . لندن F. London الارتباط الكيميائي في جزيء الهيدروجين بواسطة الميكانيك الكمي . ان هذه النظرية حول ارتباط التكافؤ (أنظر الفقرة V) سرعان ما وسّعت لتشمل جزيئات أكثر تعقيداً على يد لينوس بولنغ Linus Pauling وج . ك سلاتر J. C. Slater وماكس بورن Max Born وه . ويل H. Weyl الخ .

ان التقنية الثانية ، تقنية المدارات الجزيئية (طاقة ودالة موجة كل الكترون) طورها ف . هوند F. Hund ور . س موليكين R. S. Mulliken وج . ي . لينار-جونس J. E. Lennard-Jones (أنظر الفقرة V) .

وطورت المنهجية الثالثة ، نظرية الحقل المتبلر أو Ligand field ، على يد هانس بث H. Bethe وه . آ . كريمرس Kremers وج . هـ . فان فلك Van Vleck . وتعتبر هذه النظرية المجموعات المعقدة Complexes كأنظمة الكتروستاتية (كهربائية ثابتة) بسيطة نسبياً ، مكونة من شحنات نقاطية ومن مزدوجات القطب dipôles . ان الطاقات الكامنة من مختلف أنماط التفاعل بين الذرات أو مجموعات الذرات تعالج بواسطة الالكتروستاتيك (الكهرباء الثابتة) الكلاسيكي .

رغم ان فان فلك Van Vleck قد بين سنة 1935 انه في التحليل الأخير ، تبدو هذه التأويلات الثلاثة متكافئة ، فان هذه التأويلات عرفت نجاحاً لا يظهر له من جانب الكيميائيين والفيزيائيين . وفيما بين 1930 و 1940 عرفت نظرية ارتباط التكافؤ Liaison de Valence ، قبولاً كبيراً لدى الكيميائيين . الا ان بعض الكيميائيين العضويين استعملوا أيضاً المدارات الجزيئية Orbitales

وهي طريقة مفضلة عموماً في دراسة كيمياء وفيزياء الحالة الجامدة . وحلهم المتخصصون في المغناطيسية اقروا بأهمية نظرية الحقل البلوري . وبعد سنة 1945 ، وبفضل الدراسة الأكثر اهتماماً بالحالات الالكترونية المحثثة بالجزيئات ، عرفت نظريات المدارات الجزيئية والحقل البلوري نجاحاً أوسع . في الكيمياء التعدينية ، حيث كانت نظرية ارتباط التكافؤ خصبة جداً بمقدار ما تركز الاهتمام على الحالات الالكترونية ذات الأساس الجزيئي ، كشفت الدراسات المطيافية أن هذه النظرية لا يمكنها ان تنبئ عن الحالات المحثثة في مركبات التوافق .

III - الكيمياء الفيزيائية

1 - المنشأ ، والتطورات الأولى

رغم ان الخصائص الفيزيائية في المواد الكيميائية قدر درست منذ أكثر من قرن ، فانه حوالي أواخر القرن التاسع عشر فقط أخذت الكيمياء الفيزيائية تتكون بشكل مجال علمي خاص . وتطبيق مبادئ الحرارة المتحركة (ترموديناميك) على الأنظمة الكيميائية لم يتقدم الا ببطء رغم ان هورستمان Horstmann وجيبس Gibbs قد اهتموا بها يخلال العقود الثلاثة الأخيرة من القرن . ان أعمال مارسيلين برتيلوت Marcelin Berthelot وجوليوس تومسن Julius Thomsen حول حرارة التفاعلات قد فهمت بشكل أسهل ، ولكنها لم تسمح بالوصول إلى الترابط المرتقب مع « عمليات التآلف » Les affinités . واعتبرت دراسات راوالت Raoult وارهنيوس Arrhenius حول خصائص المحاليل الرخوة وحول التشابه Similitude الذي قرره فانت هوف Vant Hoff بين هذه الخصائص ، وقوانين الغازات ، العوامل الأساسية التي أدت إلى دراسة نظرية للأنظمة الكيميائية . واعتبر تأسيس ويلهلم أوستولد Wilhelm Ostwald سنة 1887 ، لمركز Zeitschrift fur Physikalisch-chemische Chemie ، في أغلب الأحيان ، كنقطة انطلاق للكيمياء الفيزيائية كمجال علمي مستقل .

ومنذ ما قبل بداية القرن العشرين عرف هذا المجال العلمي تطورات مهمة ، خاصة بفضل البحوث التي جرت في مختبر أوستولد في ليزيغ ، وبفضل قيام عدة تلاميذ من تلامذة الكيمياء الألماني ، بتأسيس مراكز بحوث جديدة . ولم يكن بعض العلماء يتوقع هذه النهضة إلا بنوع من الحذر ولكن شكوكهم قلما كان لها من أثر الا الحفز على بحوث جديدة مخصصة للرد على انتقاداتهم .

2 - الترموديناميك الكيميائي

التطبيقات الأولى - انطلاقاً من اللحظة التي تم فيها تطبيق القانون الثاني من قوانين الترموديناميك من قبل آ . هورستمان A. Horstmann على ظاهرة الفصل (1873) dissociation ، تقدم التأويل الترموديناميكي للتفاعلات الكيميائية بشكل بطني . في الفترة 1884-1886 عمم فانت هوف Vant Hoff نهج هورستمان حتى يستطيع تطبيقه على التوازنات الكيميائية حيث تتدخل غازات ومحلولات رخوة .

واعتبر عمل فانت هوف Van't Hoff مرتبطاً بالمنهج الرياضي الذي طوّره ويلارد جيبس J. Willard Gibbs وهو . هلمهولتز H. Helmholtz ، وأدّى هذا العمل إلى أسلوب فعال لدراسة حرارات التفاعل ، ولدراسة درجات الحرارة والتوازنات . وطبقت هذه الطريقة على حالة الغازات من قبل فريتز هابر Fritz Haber (1868-1934) الذي عرض النتائج الحاصلة في كتابه « الترموديناميك في تقنية الغازات » سنة 1905 .

القانون الثالث في الترموديناميك - ان بعض الصعوبات الموجودة في استعمال المعادلات الترموديناميكية ، قد تم التغلب عليها بفضل ولتر نرنست Walter Nernst الذي صاغ الفكرة القائلة بأن القصور الحراري Entropie في مادة متبلّرة نقية هولا شيء في درجة الحرارة 0°K . لم ينجح نرنست في تقديم برهان مقنع عليها ، ولكن نظريته بدت قابلة للتطبيق الواسع . ان هذه الطريقة المسماة المبدأ الثالث في الترموديناميك ، قد أتاحت دراسة التوازنات الكيميائية بواسطة الحساب ، باستعمال بعض الثوابت الفيزيائية ، مثل حرارة الاحتراق ، والحرارات النوعية الذاتية ، وحرارات الانتقال ، الخ .

الا ان تطبيق هذا القانون كشف بسرعة عدم دقة المعطيات الفيزيائية المتعلقة بالعناصر وبالمركبات الفيزيائية . وفي مطلع القرن العشرين قامت أيضاً جهود واسعة من أجل تحسين التحديد التجريبي لهذه الثوابت الفيزيائية . وكان هذا الجهد ، المخصص لتقديم معطيات واضحة نوعاً ما ، من أجل احتياجات الترموديناميك ، قد أدى إلى تحسين العديد من الأدوات وإلى وضع مناهج جديدة .

التأثير من وجهة النظر الكهروديناميكية - ان المعالجة الترموديناميكية لمشاكل التوازن كان لها وقع وصدى . وعملت على تقدّم كل فروع الكيمياء . وقام نرنست وج . ن . لويس ، بشكل خاص بتطبيق الترموديناميك على دراسة البطاريات الكهركيميائية . وفي الكيمياء التحليلية ، أتاحت وجهة النظر الترموديناميكية وضع الأسس الأولى القوية لدراسة تفاعلات التسارع ، وتفسير التوازنات بين « القواعدات » (Les bases) وبين الحوامض (Les acides) الضعيفة ، وخاصة ، نظرية الدلائل الملونة . وتلقت فروع أخرى من الكيمياء أيضاً تأثير الترموديناميك . ويعتبر نشر كتاب ج . ن . لويس وج . راندال M. Randall سنة 1924 وعنوانه « الترموديناميك والطاقة الحرة في المواد الكيميائية » مرحلة مهمة في هذا السبيل .

وطبق القانون الجديد سريعاً على مسائل متنوعة جداً .

لقد استخدم نرنست هذا القانون لحساب درجة الحرارة في انتقال الكيزيت المعيني وأحادي الميل انطلاقاً من الحرارة الذاتية النوعية ومن حرارة التحول ضمن الحجم الثابت . وقام ج . ت . بايكر J. T. Baker بحساب درجة الحرارة في ذوبان الأملاح البسيط ، في حين درس ج . طومسن تميمه الاملاح . وأتاحت أعمال أخرى تطبيق هذا القانون على أنظمة متجانسة ومتفارقة متنوعة ، وكذلك على القوة الكهربية المحركة الموجودة في بطاريات فولتا .

ونجح هابر في تطبيق مبادئ التوازن على تفاعل تركيب الأمونياك انطلاقاً من الهيدروجين

والأزوت . ووضع كارل يوش أسلوباً للصناعة التجارية لصالح منشآت باديش أنيلين Badische Anilin وصودا فابريك . واستخدم هذا النجاح الأول ، على المستوى الكبير المرتكز على استخدام الترموديناميك الكيميائي كمثل من أجل تطبيقات أخرى كثيرة حققتها الصناعة الكيميائية ، وخاصة الصناعة البترولية .

وبخلال العقد الأخير من القرن التاسع عشر ، تركز الاهتمام من أجل الحصول على درجات حرارة منخفضة جداً ، ولعبت مبادئ الترموديناميك دوراً أساسياً في تحسين مناهج تسييل الغازات .

وتم تسييل الهيدروجين الذي كانت درجة غليانه عند الدرجة 22°K ، سنة 1898 على يد جاسم ديوار James Dewar ، قد جرى تبريد هذا الغاز تحت درجة حرارة تحول عند جول طومسون Joule-Thomson (193°K) ، وأتاح أسلوب Lindé فيما بعد حمله إلى ما دون درجة حرارته الحرجة (33°K) . وتم أيضاً تسييل الهليوم سنة 1908 في مختبر كريوجين في ليد Leyde الذي أسسه هـ . كامرلنغ اونس H. Kamerlingh Onnes . واستخدم الهيدروجين السائل من أجل تبريد الهليوم تحت درجة التحول (100°K) . ثم تم الحصول على تبريد إضافي بواسطة المفعول جول - طومسون Joule-Thomson . وباستخدام الهليوم السائل تحت ضغوطات خفيفة جداً ، نجح مختبر ليد في الوصول إلى درجة الحرارة 0.84°K . وفي درجات حرارة من هذا المستوى ، أظهر الهليوم السائل خصائص غير متوقعة ؛ وهكذا استطاع ان يصعد على طول جوانب وعائه لكي يرتحل إلى وعاء فارغ ، وأقم بالجوار . نذكر أيضاً ظاهرة التوصيل العليا Supraconductibilité (راجع بهذا الموضوع دراسة ج . الارد G. Allard في الفقرة IV من الفصل VII . ودراسة ب . مارزين P. Marzin وج . لومزك J. Le Mezec في الفقرة VIII من الفصل IX) .

وتم الحصول على نجاح آخر جديد في مقارنة الصفر المطلق ، وذلك سنة 1933 بفضل وليم . ف . جيوك (William F. Giauque) .

واجزى جيوك Giauque تجارب حول إزالة المغنطة الكظمية (دون فقدان أو كسب للحرارة) في سولفات الغادولينيوم المبرد حتى درجة 1.5°K في حقل مغناطيسي من طاقة 8000 اورستد . وبعد زوال الحقل المغناطيسي ، فقد الملح فجأة مغناطيسية ، ونتيجة زيادة القصور الحراري المستحدث على هذا الشكل سقطت الحرارة إلى 0.25°K . وبهذه الطريقة ، سنة 1950 ، أمكن الوصول إلى درجة الحرارة 0.0014°K في مختبر ليد ، ورغم هذه النجاحات ، بين التحليل النظري للتجارب ان الصفر المطلق غير ممكن البلوغ .

3- التحرك الكيميائي

رغم النجاحات التي تمكن الترموديناميك من الوصول إليها في حل المسائل النظرية والصناعية المتنوعة جداً ، فقد ظهر عاجزاً عن مباشرة دراسة المراحل المتتالية في التفاعلات ، من جراء كونه يعالج أنظمة كيميائية متوازنة متجاهلاً كيفية التوصل إلى هذا التوازن . وعليه يجب اعتباره في هذه الحالة ، على اتصال بالسرعات وبالأليات التفاعلية .

الفرضيات الأولى - كانت سرعات التفاعل موضوع دراسات متقطعة بخلال القرن التاسع عشر ، ولكن المسألة لم تكن لتتقدم أبعد من المرحلة التجريبية . في سنة 1884 حاول فانت هوف ، أن يطرح فرضية التصادم Collision ، أملاً بالتالي بوضع القوانين التي تعبر عن تغير سرعة التفاعل تبعاً للتكثف . ولم تنجح محاولاته الا جزئياً ، بسبب تدخل عناصر مشاغبة ومربكة غير درجة الحرارة وغير التكثف . في سنة 1889 أدخل أرهينيوس مفهوم الجزيئات النشطة ، مفترضاً أن الجزيئات ذات المستوى من الطاقة الذي يفوق المتوسط بكثير هي وحدها التي تستطيع التفاعل ضمن التصادم . ورغم هذا التحسين ، لم تستطع نظرية التصادم Collision تقديم الحل المرغبي .

فرضية « التشميع » - طوّرت نظرية « التشميع » قبل سنة 1919 انطلاقاً من أعمال جان برّان Jean Perrin ، وهي توحي بأن الجزيئات التي تتفكك في التفاعلات أحادية الجزيئات تتلقى طاقاتها التنشيطية من الاشعاعات تحت الحمراء المتأينة من جوانب الوعاء .

منذ سنة 1913 اهتم جان برّان بواقعة مفادها انه في التفاعلات أحادية الجزيئات لا تتحدد سرعات التفاعل بفعل تواتر الاصطدامات . وساهم كل من و . تروترز W. Trautz في ألمانيا وك . مك لويس C. McC. Lewis في انكلترا ، أيضاً في تطوير هذا المفهوم الذي استقبل بحماس فتسبب بالعديد من البحوث الاختبارية ، وكشفت الدراسات الدقيقة ، ان هذه الفرضية تقود إلى بعض الاستنتاجات التي تتنافى مع الوقائع الاختبارية .

ورغم الصعوبات المعارضة في البحث عن تفسير كافٍ للطاقة المنشطة ، تم تسجيل تقدم واضح في انجاز وضع نهج رياضي يتيح دراسة الحركية في التفاعلات . ان الأعمال التي بوشربها في هذا المجال من قبل ر . مارسيلين R. Marcelin كانت مهمة بشكل خاص .

وضع مارسيلين صيغة للتحويلات ذات درجة الحرارة الثابتة وحاول ان يستنتج من قانون التوزيع تعبيراً عن سرعات التفاعل . والمعادلة التي حصل عليها ليميز تأثير درجة الحرارة على سرعات التفاعل طبقت على تصعيد البود والفتالين وتبخّر النيترومزين .

وبعد مضي ما يقارب من عشر سنوات ، باشر هـ . ايرنغ H. Eyring الأعمال التي سوف توصله إلى « نظريته ذات المعدل المطلق » .

وباستخدام المعطيات الطيفية أو المنحنيات الكامنة التي قال بها مورس ، نجح في حساب طاقات التنشيط . وكانت طريقته مرتكزة على الاهتمام بسرعات التفاعلات الكيميائية والفيزيائية ، وبقوة الاتصالات الكيميائية وبدرجات الحرارة . وحوالي سنة 1936 ، طبقت نظرية ايرنغ ، حول المعدل المطلق ، على ظاهرات فيزيائية مثل الانتشار ، واللزوجة واللدونة وبخلال السنوات اللاحقة ، طبقت نظرية ايرنغ على تفاعلات التسجيل المعدني (بما فيه التشوّه البطيء والتحبب granulation) وعلى التفاعلات البيولوجية ، وعلى الظاهرات الجيولوجية (تقبب الجبال ، حركات جبال الجليد) ، وعلى تشكل المكثفات Polymères العالية .

التفاعلات التسلسلية المتفاعلة - وبالعودة إلى فرضة التصادمات وضع ف. آ. ليندمان F. Lindemann رياضياً ، انه في التقريب الأول ، يمكن تفسير الحركية بفعل أولية الاصطدامات (1922) . وقدم ك. ن. هنشلود C. N. Hinshelwood لهذه الفرضية سلسلة من الاستكتمالات والتحسينات والتصحيحات الرامية إلى توضيح التفاعلات الكيميائية الأولية .

ان تحديد أولية التفاعلات المتفاعلة كان هو الأهم . وعندما قام م. بودنشتاين Bodenstein بدراسة تشكل أسيد (حامض) برومهدريك ، انطلاقاً من عناصر ، ظن انه عشر ، من وجهة النظر الحركية ، على النموذج الجزيئي المزدوج (Bimoléculaire) الموضوع في أواخر القرن التاسع عشر من أجل اصطناع حامض اليود المائي iode hydrique . ولكن ، في هذه الحالة الأخيرة ، بدت الحركية مختلفة تماماً ، ولم تتوضح أولية التفاعل التسلسلي الا بعد عدة سنوات . وتوسع فرضية سلسلة التفاعلات ، الذي افترض الوجود المؤقت للجذور Radicaux الحرة ، مثل المتيل أو الفينيل ، استقبلاً سيئاً نوعاً ما ، رغم ان جذوراً من سلسلة ترفينلمتيل قد لوحظت من قبل م. غومبرغ M. Gomberg في بداية القرن . ومع تقبل وجود جذور كبرى عضوية وحررة ، فان الكيميائيين رفضوا تقبل وجود جذور صغرى من هذا النمط . الا أن أعمال ف. آ. بانث Paneth وف. و. رايس F. O. Rice (أنظر الفقرة VI) ، أوجبت إعادة النظر في هذه المشكلة . وقراءة منتصف القرن ، أخذ استعمال الجذور الحرة ، لتفسير أولية التفاعلات يقرب من الأذهان عموماً ، بعد ان سمح الميكانيك الكمي بالقول ان مثل هذه الجذور يمكن ان تكون مستقرة . وكان هذا التأويل مفيداً بشكل خاص لفهم التفاعلات العضوية . وقد لعب ن. م. سيمينوف N. M. Semmenov الذي خصص منذ سنة 1930 العديد من الأعمال المختلفة لمظاهر الحركية الكيميائية ، دوراً أساسياً في وضع نظرية التفاعلات التسلسلية .

4 - نظرية الحلول

نظرية ارهنيوس - في مطلع القرن العشرين كانت نظرية الانفصال الالكتروليكي (التحليلي الكهربائي) التي وضعها ارهنيوس Arrhenius مقبولة ومنتشرة نوعاً ما ، رغم انها لم تكن تطبق على المحاليل اللزجة ، وان العديد من المسائل ذات العلاقة بهذه النظرية بقيت بدون جواب ، وبدت غير قابلة للحل . وساهم العديد من تلامذة اوستولد Ostwald في تطهيرها وفي انتشارها . وجواباً على الانتقادات التي وضعها كيميائيون أمثال ه. ارسترونغ H. Armstrong في انكلترا ول. كاهلنبرغ Kahlenberg في الولايات المتحدة فان أعمالهم حول المحاليل قد توبعت بنشاط بأمل الوصول إلى بنية نظرية مرضية . الواقع ان نظرية ارهنيوس ، والدراسة الترموديناميك للحلول المباشر بها من قبل فانت هوف لم تكن تطبقان الا على المحاليل اللزجة المائعة جداً .

نظرية ديه - هوكل Théorie de Debye-Huckel - سنة 1923 قام بيتر ديه Debye من زوريخ ومساعداه أ. هوكل Huckel بتحسين مهم لهذه النظرية ، فقد بدا يومئذ ، انه من المؤكد ان أيونات الأملاح تنتج عن تحويلات الالكترونات المحققة ساعة تشكل المركب . من جراء هذا بدا ان

الأملاح يجب ان تفصل تماماً إلى أيونات عندما تلوّب في الماء . الا ان كل تدابير التوصيل والضغط البخاري تكشف عن درجة من الفصل أقل بوضوح من 100% . وافترض ديه وهوكل انه ، بفضل الجذب بين الأيونات ، فان كل أيون محاط بجو من الأيونات ذات الشحنات المتعارضة . واستنتج من ذلك تعبيراً عن تغير التوصيلية مساوياً تبعاً لدرجة التركيز في المحلول (هذه النظرية معروضة بتفصيل أكبر في دراسة ب مارزين P.Marzin وج . لوميزك J. Le Mezec في الفقرة VI من الفصل IX) . وأدخلت تحسينات على طريقة ديه - هوكل سنة 1926 من قبل النرويجي د . اونساجر D. Onsager الذي أدخل الحركة البرونية للأيونات . وعلى كل ، إذا أعطت هذه النظرية نتائج حسنة في دراسة المحاليل المائية ، فإن المسائل المتعلقة بالمحاليل الأكثر تركيزاً لم تلق بعد تفسيراً نظرياً مرضياً تماماً .

5 - نظرية الحامض - القاعدة

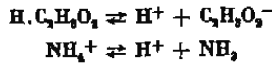
المفهوم الكلاسيكي - ان نظرية الفصل الالكتروليتي التي وضعها ارهينيوس أدت إلى ربط الخصائص الحمضية بوجود أيونات هيدروجينية حرة وربط خصائص القواعد Les Bases بوجود أيونات هيدروكسيل . والتحديد يقتضي عندها تشكّل ماء بفعل هذه الأيونات H^+ و OH^- . ومن جراء كون الماء يظهر توصيلية جد خفيفة ، يتوجب افتراض وجود تفكك ضعيف في هذه الجزيئات ثم افتراض وجود أيونات في كل المحاليل اللزجة . ان تحديد التركيز الأيوني في الماء هو 10^{-14} (1×10^{-14}) والتثبت من أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل في الأنظمة المتوازنة ، أتاح فعلاً تفسير الحموضة من وجهة النظر الأساسية هذه حول التركيز على أيونات الهيدروجين . في سنة 1909 قام الدانمركي س . ب . ل . سورنسن S.p.L. Sorensen بادخال مفهوم pH ، هذا العدد ، وهو تعام - لوغاريتم تركيز أيونات الهيدروجين ، يقع بين صفر و 7 بالنسبة إلى الماء الذي هو محايد . ان هذا المفهوم قد بدا مربحاً ، في الكيمياء الخالصة ، وفي الكيمياء الصناعية ، وحتى في البيولوجيا .

نظرية برونستد Bronsted - في حين نجحت نظرية ارهينيوس في تفسير ظواهرات الحموضة والقلوية في المحاليل اللزجة ، فإنها فشلت تماماً في تفسير ظواهرات الحوامض القاعدية داخل المحاليل غير اللزجة . وبين ا . ك . فرانكلين E. C. Franklin ان ظواهرات التفكك تحدث أيضاً في الأنظمة السائلة النشادرية المؤدية إلى تشكّل أيونات NH_2^- ، NH_4^+ . ويدو ادن ان تفاعلات مماثلة للتحديدات تحدث فيها بين الأملاح النشادرية والنشائيات . ثم تبين فيما بعد ان تفاعلات من هذا النمط يمكن ان تحدث أيضاً داخل المذيبات غير اللزجة .

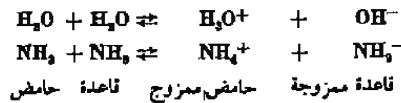
ان فهماً أوسع لنظرية الحوامض والقواعد التي يمكن ان تطبق على الأنظمة غير اللزجة ، قد أنجز بخلال العشرينيات ، خاصة ، عقب بحوث نظرية قام بها الدانمركي ج . ن . برونستد والانكليزي ت . م . لوري T. M. Lowry . سنداً لتصوير برونستد - لوري كل مادة يمكن ان تعطي أيونات هيدروجين ، هي حامض ، وكل مادة يمكن ان تقبل مثل هذه الأيونات هي قاعدة .

تعتبر B وكأنها القاعدة المتزاوجة مع الحامض A : $A \rightleftharpoons H^+ + B$
 قاعدة برونون حامض

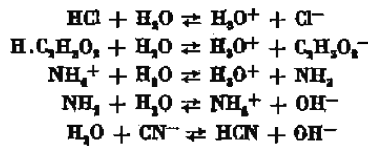
أتاحت هذه النظرية توسيع مفهوم نظام الحامض - القاعدة رغم انها تقتضي وجود بروتونات داخل مثل هذه الأنظمة . وعلى هذا فان الحوامض والقواعد يمكن ان تكون أيضاً جزيئات كما تكون أيونات . وهذان مثالان عنها :



وسرعان ما ظهر ان البروتونات غير موجودة أبداً بحالة حرة ، بل انها متزاوجة مع المذيب . من ذلك في الماء وفي الامونياك ، فان التفاعلات التالية تحدث إلى درجة ما :

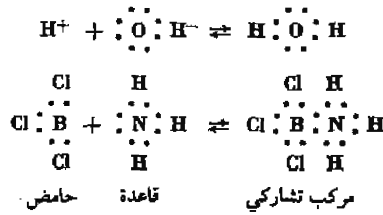


وهناك حوامض أخرى أيضاً مع المذيب :



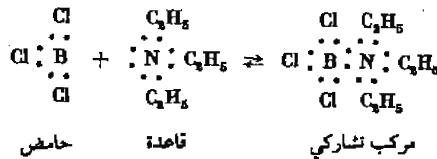
وسنداً لنظرية برونستد ، فإن نفس الجزيء ، أو نفس الايون ، قد يتصرف مرة كحامض ، ومرة كقاعدة بحسب الاجسام الأخرى المتاحة أو التي من شأنها أن تتفاعل ، والمعيار هو الأهلية لتلقي أو إعطاء البروتونات .

نظرية لويس Lewis - وقد كشفت أعمال أخرى وجود أنظمة مماثلة لا يتواجد فيها الهيدروجين اطلاقاً ، من ذلك ان الفسجين السائل يبدو وكأنه ينحل إلى أيونات Co^{++} و Cl^- وان الأنيديد السولفور السائل يتصرف كنظام منفصل بضعف: $(2 SO_2 \rightleftharpoons SO^{++} + SO^{--})$. والمفهوم الموسع ، الذي يتيح ادخال امثال هذه الأنظمة في إطار نظرية الحامض - القاعدة ، قد رسمه ج . ن . لويس منذ 1923 ، ولكنه لم يكتمل الا سنة 1938 . وقد ساهم سيدريك أيضاً في تكون هذا المفهوم . وسنداً لنظرية لويس ، فان كل قابل للالكترونات هو حامض ، وكل معطي للالكترونات هو قاعدة .



وقد كشفت بحوث أجريت على مختلف المحاليل غير المائجة ، خاصة بحوث أجراها ك . آ . كروس C. A. Krauss وأ . ك . فرانكلين E. C. Franklin ، ان خصائص حامض - قاعدة قد تظهر في غياب أي بروتون .

وعلى هذا فان أي تفاعل تحيدي يمكن ان يلاحظ داخل محلول سن مثلكلورور البور في الكلوروبنزين عندما نضيف التريثيلامين بحضور دليل مثل البنفسجي المتبلر . وسنداً لنظرية لويس ، فإن التحيد هو نتيجة تشكل جزيء تشاركي .



6 - كيمياء السطوح (اللدائن Colloïdes)

اتجاه البحوث - بما ان جزيئات اللدائن تمتلك سطحاً ضخماً بالنسبة إلى وحدة الكتلة النوعية ، فإن كيمياء اللدائن وكيمياء السطوح مرتبطتان بوثوق ؛ وأيضاً ، فإنه بخلاف القرن العشرين ، عرف هذان المجالان نهضة مشتركة . وفي مطلع القرن ، اهتم الكيميائيون قبل كل شيء بدراسة بعض الأنظمة النموذجية : معادن مشتتة ، سولفور واوكسيدات هيدراتية . وبخلاف الحقبة التالية ، جرى الاهتمام أكثر بالجزيئات الكبرى ، وخاصة بالجزيئات التي تدخل في البروتينات وفي هيدرات الكربون المركبة . وحوالي منتصف القرن ، جرى الاهتمام بشكل خاص بالجزيئات التركيبية ذات الأبعاد اللدائنية Colloïdales .

الآلات الجديدة - لقد استعمل المجهر المتفوق ، الذي وضعه ر . سيغموندي Zsigmondy في بداية القرن ، ويفائدة كبيرة ، في دراسة عدد وسلوك الجزيئات اللدائنية . وفيما بعد ، ساهمت أدوات أخرى وبفعالية في بعض البحوث ، وأثرت بشكل ضخم في توجه مختلف الأعمال . والألومين ، الخ . وفي حدود السنوات 1900 درس علماء كيمياء اميركان وروس والمان امكانية

وتم تحقيق الآلات المجهزة عن المركز (أو المركبات الدائرية Ultracentrifugeuses) على يدت سفدبرغ Svedberg عقب سنة 1920 . وقد أتاحت هذه الآلة هذه تدوير المحاليل اللدائنية في سرعات تحمل قوى الترسيب Séimentation إلى قيمة تساوي 240 000 قوة الجاذبية الأرضية ، وتحت تأثير مثل هذه القوى أمكن اجبار جزيئات صغيرة نسبياً ، مثل جزيئات السكروز على الترسيب .

هذا الترسيب يمكن ملاحظته وذلك بقياس تغير مؤشر الانكسار بصرياً ، هذا التغير الذي يحدث بمقدار تضاؤل الحاجز بين المحلول اللدائني والعذيب النقي . وبخلال تحليل الخلائط اللدائنية ، أمكن حتى رصد سرعات الترسيب في المكونات المختلفة . وكانت هذه الطريقة مفيدة للغاية لدراسة البروتينات في البلازما الدموي . وبخلال السنوات القليلة زالت المركبة الدائرية التي صممها سفدبرغ لتحلل محلها أنماط أخرى من « العصارات » أقل كلفة ، تعمل بالهواء المضغوط أو بالكهرباء وتعطي نتائج مشابهة .

وابتداء من سنة 1937 ، انجز آ . تسيليوس Tiselius في مختبر سفديرغ ، طريقة الالكترفوريز Électrophorèse ، هذه التقنية التي تسمح بدراسة الارتحال ، في حقل كهربائي ، ارتحال الجزيئات اللدائنية المشحونة ، قد لعبت دوراً مفيداً للغاية في فرز البروتينات من البلازما الدموية .

وانطلقت ، في ألمانيا ، بفضل آ . بوكلس A. Pockels سنة 1891 ، دراسة الطبقات أحادية الجزيء وطورها لورد رايلي Rayleigh بخلال السنوات التالية .

لنلاحظ ان هذه المواد القليلة الذوبان كالزيت يمكن ان تنتشر فوق سطح الماء فتقلل من الضغط السطحي ، حتى عندما تكون بكميات صغيرة جداً إلى درجة انها تشكل طبقة أحادية الجزيء . وحقق ي . لانغموير I. Langmuir ميزان سطح قياسات دقيقة لطبقات كلك التي تشكلها الحوامض الشحمية والكحول ذات السلسلة الطويلة .

ان النتائج التي توصل اليها لانغموير ، في الولايات المتحدة ، ون . ك . آدام N. K. Adam ، في انكلترا ، فيما يتعلق بأحجام الجزيئات في الحوامض الدهنية وغيرها من المواد ، بدت متوافقة مع القيم المحسوبة بواسطة طريقة انشطار Diffraction الأشعة السينية . وتم الحصول أيضاً على نتائج مهمة في دراسة الجزيئات المعقدة ، كخلايا السيرويد Stéroïde والبروتينات . ان بحوث E. K. Rideal في كمبريدج حول الطبقات (القشرات) أحادية الجزيء قد قدمت إشارات مفيدة حول الجوانب الخلوية وحول التفاعلات المناعية وحول سلوك السموم .

الامتصاص من قبل الجوامد - تناولت أعمال عديدة امتصاص سطوح الجوامد ، والاهتمام بهذه الظاهرة يعود إلى أن هذه البحوث قد بدت مفيدة تماماً في تفسير سلوك الوسيطات Catalyseur . وغالبية هذه الأعمال تتعلق بامتصاص الغازات ، ولكن جرى الاهتمام أيضاً بامتصاص مركبات محلول ما ، وهي ظاهرة تلعب دوراً مهماً أثناء تنقية المحاليل ، في المختبر أو

في الصناعة ، وفي على علاقة وثيقة مع الاستشراب Chromatographie .

ان الميزان المحقق في مختبر ج . مك بين J. Mc Bain قد استعمل كثيراً في القياس المتري لامتصاص الجوامد . واستعملت أيضاً طرق لقياس الحجم . وقد بينت هذه الأعمال عن وجود أولي امتصاص ، واحدة فيزيائية والأخرى كيميائية ؛ ويتوقف الامتصاص الكيميائي منذ تشكل قشرة جزيئية ، في حين ان الامتصاص الفيزيائي قد يستخدم قشرات متعددة الجزيئات .

في سنة 1916 قدم لانغموير أول نظرية لمجمل امتصاص الغازات من قبل الجوامد ؛ فادخل فيها « خط تساوي درجة الحرارة » الذي يتفرع ادخاله من نقاش حركي للكثف والتبخير الذي يصيب الجزيئات الغازية فوق سطوح الجوامد . أما الامتصاص الحاصل داخل المحاليل فلم يفسر ، بشكل مرضٍ هكذا ، رغم انه في العديد من الحالات ، أمكن تفسير الوقائع التجريبية بواسطة خط تساوي درجة حرارة تجريبي تم اقتراحه سنة 1909 من قبل هـ . ك فرويندليخ H. K. Freundlich .

IV - الكيمياء التحليلية

1 - الاتجاهات العامة

حالة الكيمياء التحليلية سنة 1900 - في مطلع القرن العشرين ، قلما كانت الكيمياء التحليلية إلا أداة متواضعة تماماً في خدمة فروع الكيمياء . كانت هناك أساليب ثقالية gravimétriques ومحجامة مرضية مستعملة لتحليل مواد معدنية عديدة . ان تقنيات التحليل الأولي للكربون ، والهيدروجين ، والأزوت ، والهالوجينات والكبريت الموجودة في المركبات العضوية كانت تستعمل أيضاً بنجاح ، رغم ان طرق تحديد المجموعات الوظيفية والمبادئ المباشرة الفورية كانت ناقصة الاكتمال .

ان العديد من الوسائل التحليلية المستعملة كانت قد تطورت بشكل تجريبي خالص ، رغم ان المعارف الحاصلة حديثاً حول التوازن الكيميائي قد أثبتت وأيدت متانة المناهج المقررة كما أثبتت مبادئ جديدة أتاحت تحسين الوسائل العقيمة . ولم تلعب تقنيات المعدات الا دوراً محدوداً جداً . فقد كان مقياس الاستقطاب ، Polorimètre ومقياس السكر (مسكار) Saccharimètre مستعملين منذ أكثر من نصف قرن في تحليل المركبات التي تبدو ناشطة بصرياً ، وكانت مقاييس الألوان تستعمل لمقارنة ألوان بعض الميّنات مع ألوان المحاليل المعيارية Standard . وكان المطياف Spectroscope مستخدماً في التحليل النوعي ، وبشكل أقل عمومية ، في الدراسات الكمية .

تأثير الكيمياء الفيزيائية - لقد تغيرت ميزات الكيمياء التحليلية تغيراً ضخماً بخلاف القرن العشرين . في مطلع القرن أتاح تقدم الكيمياء الفيزيائية دراسة نظرية للمناهج الغرافيمترية (الثقلية) والمحجمية التقليديتين . لقد لعبت مفاهيم التوازن ، المشتقة عن البحوث حول المحاليل دوراً مهماً في فهم تفاعلات الترسيب ووسائل المراكزة *Titration* ، وبدت المفاهيم الجديدة ، مثل مفاهيم ناتج المحلولية ، وناتج pH ، ومفعول الايون المشترك ، ومفعول الوقاية والتوازن الايوني المعقد ، مفيدة جداً ، حين أتاحت تأويلاً أفضل لمختلف الوسائل التحليلية ، النوعية والكمية .

لقد يوشع بتفسير أولية المؤشرات منذ سنة 1891 ، من قبل و . اوستولد W. Ostwald الذي وضع لها أول نظرية ؛ ورغم ان هذه النظرية كانت قليلة الكفاية ، الا انها فتحت الطريق إلى تفسير المؤشرات باعتبار اشباه حوامض وقواعد ، وذلك من قبل آ . هانتش A. Hantzsch وتم بالتدرج التعرف على تأثير التركيز في أيونات الهيدروجين على تغيرات اللون ، مما بين أهمية المراكزة بـ pH المحدد تماماً . ان التاريخ الخاص حول الدلائل الملونة المنشور سنة 1914 من قبل ن . بيجروم N. Bjerrum يحتوي على تأويل جديد للتحليل المائي للأحماض .

2 - التحليل التصغيري Microanalyse

رغم ان بعض المناهج التحليلية ، الحساسة تجاه المضامين الخفيفة ، كانت مستعملة منذ زمن بعيد (اختبار مارش Marsh بالنسبة إلى الزرنيخ ، أسلوب نسلر Nesler بالنسبة إلى الامونياك) ، فإنه بخلاف القرن العشرين أصبح التحليل التصغيري منهجاً شائع الاستعمال . لقد وضع ف أميش F. Emich (1860-1940) ودي غراز De Graz نهضة المناهج المصغرة الكمية عن طريق تخفيض أحجام أجهزة التحليل وتكييف التقنيات لتلائم مع استعمال عينات من عيار بعض المليغرامات فقط . وقد جهد أميش Emich أيضاً في تطوير استعمال المحاولات باللمس لتحديد هوية المواد المعدنية . ولكن ف . فيغل F. Feigl بشكل خاص هو الذي ساهم ، في قينا أولاً ثم في البرازيل فيما بعد ، في نشر تطبيقات المحاولات من هذا النوع ، الجارية بواسطة المنشطات المتنوعة العضوية والمعدنية .

وفي حوالي سنة 1910 ، نجح ف . بريغل (1869-1930) ، ومثله دي غراز de Graz في اجراء المزيد من التصغير في العمليات التقليدية المتعلقة بالتحليل العضوي . ان المناهج الكلاسيكية المستخدمة بالنسبة إلى الكربون والهيدروجين ، وطريقة دumas بالنسبة إلى الأزوت وطريقة كاربوس Carius بالنسبة إلى الكبريت والهالوجينات ، قلصت بشكل عمليات مصغرة جداً . وصنعت أجهزة خاصة من أجل التحديد المصغر لنقطة الذوبان ولانخفاض نقطة التجمد ، وللتحديد المصغر لارتفاع درجة الغليان .

ان الطرق المصغرة قد انتشرت بسرعة في التحليل العضوي لأن المكونات التي تتيحها من حيث امكانية اجرائها على عينات صغيرة جداً ، اعتبرت تقدماً ضخماً خاصة بالنسبة إلى بعض التحليلات ذات الطبيعة البيولوجية .

ان التقدم الذي تحقق في مجال دراسة الظواهرات المشعة قد حتم ادخال الطرق التحليلية الجديدة « وهي الطرق المتناهية التصغير » الأكثر حساسية من الطرق التي كانت مستعملة حتى ذلك الحين . وبفضل تحسين الطرق التصغيرية القائمة ، وبفضل استعمال أدوات مصممة خصيصاً ، وبفضل استخدام تقنيات جديدة ، أصبح بالامكان التعامل مع عينات تزن أقل من ميكروغرام أو غاما [جزء من مليون من الغرام] (بنديتي - بيكلر Benedetti-Pichler) .

3 - المناهج الأدواتية

الاتجاهات العامة - لقد بين القرن التاسع عشر ان الأدوات مثل مقياس الانحراف Refractomètre ، ومقياس الاستقطاب Polarimètre والبصطيف Spectroscope يمكن ان تلعب دوراً مهماً في الكيمياء التحليلية ، ولكن بخلال الربع الأول من القرن العشرين ، لم تكن هذه التقنية الادواتية إلا موضوع تحسينات ذات أهمية ضئيلة . وبالمقابل ، لقد رأى الربع الثاني من القرن تحقيق تقدم ضخم عمل على تغيير طبيعة الكيمياء التحليلية . هناك سببان رئيسيان ، خارجان عن نطاق الكيمياء ، هما في أساس هذا التطور في المناهج : وضع أجهزة الكترونية حساسة جداً ذات استعمال هين ، ثم النمو السريع في الحاسبات الالكترونية ذات القدرات الضخمة .

في حين ان تحسين بعض الطرق الكلاسيكية ، أمثال قياس الاستقطاب Polarimétrie (ك . دجيراسي C. Djerassi) ، ودراسة اللونانية الدائرية Dichroïsme (لگران Legrand) ، الخ . قد وسعت بشكل ضخم حقل عملها ، فقد أدخلت طرق جديدة عديدة ومتنوعة .

البولاروغرافيا (التحليل الاستقطابي) - لقد استعمل المحلل الاستقطابي Polarographe بخلال البحوث حول المحلل ذي النقطة ، وقد أجريت هذه البحوث ابتداء من سنة 1922 من قبل ج . هيروفسكي J. Heyrovsky في براغ . ثم استعمل بنجاح في تحديد مختلف الايونات المعدنية الضعيفة الكثافة ، وفي المجموعات العضوية سهلة التحويل . وكان التسجيل الاستقطابي أيضاً في أساس المراكزة Titration بالمقياس الامبيري (ampérométrie) .

الطرق المقياسية المطيافية التصويرية Spectrophotométrie - ظلت الطرق المقياسية التلوينية التقليدية ، ذات الصفة التحريية الغالبة ، مستعملة حتى الثلاثينات ، وبعدها جاء استعمال المقاييس الطيفية وأخذ يشيع . وبفضل مناخل ، وموشورات أو شبكات ، أمكن وضع إضاءة شبه أحادية اللون ، وبالتالي العمل ضمن ظروف قريبة من الظروف التي يقتضيها قانون بير-لامبرت (Beer-Lambert) . فضلاً عن ذلك ان الخلايا الكهروضوئية قد أتاحت قياس زخم النور المنقول ، قياساً بدقة أكبر من الدقة التي يتيحها الفحص البصري . هذا الانجاز لآلات أفضل ملاءمة وتكيفاً حفز دراسة مواد تفاعلية جديدة ذات تلوين قابل للقياس ، وذات مكثات استعمالية وأكثر تنوعاً . ثم ان التقدم في المعدات قد أتاح أيضاً توسيع استعمال هذه الأساليب فيما هو أبعد من الطيف المرئي ، خاصة في مجال ما فوق البنفسجي وما تحت الأحمر .

المطيافية تحت الحمراء - لقد تم صنع أدوات تستخدم الطاقة المشعة المتوافقة مع المجال تحت الأحمر ، وهي جزء من التشعيع الممتد من ما هو قريب من 0.78μ (ميكرون) إلى ما هو

أبعد من المجال المرئي حتى حدود 300μ تقريباً ، وذلك من أجل ممارسة التحليل عن طريق الانمصاص .

ونظراً لأن هذه المنطقة الطيفية تحتوي على تواترات تشبه التواترات الموجودة في الذبذبات ذات البنية الجزيئية ، يمكن بالتالي دراسة الكتل الذرية ، وقوى الاتصال والتشكلات الجزيئية ؛ وهكذا أيضاً يمكن عن طريق هذه التقنية تحديد هوية بعض المجموعات المزودة بأشرطة امتصاص مميزة . أن المطيافية تحت الحمراء كانت جد مفيدة في الكيمياء العضوية ؛ وقد لعبت دوراً مهماً في دراسة بعض المركبات المعدنية .

انحراف الأشعة السينية والالكترونات - إذا كانت الأشعة السينية (إكس) لم تأخذ مركزاً مهماً في التقنيات التحليلية الاصطلاحية فهي قد لعبت دوراً أساسياً في الدراسات حول بنية البلورات (أنظر بهذا الشأن دراسة ج . أورسل ، الفقرة I من الفصل II من القسم الثالث) . أن فرضية م . فون لوف (Von Laue) (1912) فيما يتعلق بانحراف الأشعة السينية بفعل الطبقات الذرية الموجودة في البلور ، قد أثبتت تجريبياً ، فأصبح انحراف هذه الأشعة وبسرعة طريقة قوية جداً لدراسة هيكلي البلورات . وفيما بعد أمكن استخدام انحراف الالكترونات أيضاً في دراسة بنية الأجسام المختلفة .

قياس طيفية الكتلة - انبثقت هذه التقنية من بحوث ج . ج . طومسون الذي استخدم سنة 1912 مزيج حقن مغناطيسي بحقل كهربائي ستاتيكي ليفصل ، تبعاً للكتل ، أيونات متحركة . وهناك أيونات تتطابق بنفس النسبة التي توجد بين الشحنة والكتلة e/m وترك أثراً اهليلجياً فوق صفحة فوتوغرافية . وفي حالة النيون ، لاحظ ج . ج . طومسون وجود اهليلجين يتطابقان مع الكتلة 20 والكتلة 22 . وبعد الحرب العالمية الأولى عاد فرنسيس أستون مساعد طومسون إلى دراسة هذه الظاهرة الشاذة وقرر بوضوح وجود نظيرين مشعين من النيون في الطبيعة .

وأتاح التصوير الطيفي لكتلة أستون ، هذا التصوير المرتكز على مرور مثالٍ للأيونات في الحقل الكهربائي الستاتيكي والمغناطيسي ، أتاح جمع (في نفس النقطة من الصفحة الفوتوغرافية) كل الأيونات ذات النسبة نفسها e/m ثم زيادة حساسية التجارب زيادة ضخمة . وفيما بعد بين أن العديد من العناصر توجد بشكل طبيعي بهيئة أمزجة من النظائر . واستخدم جهاز صمم سنة 1917 من قبل آ . ج . دمبستر من جامعة شيكاغو ، مبادئ مماثلة ، ولكنه اشتغل على أيونات ذات سرعة متسقة ، قاس زخمها كهربائياً . وهذا الجهاز الذي سمي المقياس الطيفي للكتلة ، بدا أكثر ملاءمة من أدوات أستون من أجل تحديد النسب المختلفة الموجودة في النظائر المتنوعة .

وبخلال العقدين التاليين أدخلت تحسينات مهمة على هذين النمطين من المعدات مما أتاح تحديداً دقيقاً جداً للكتل النظائرية ، ولنسب التوزيع . وبحوالي 1940 شرع في استخدام هذه الأجهزة في بحوث جديدة .

وكان علماء الكيمياء الاحيائيون بشكل خاص راغبين في استعمال نظائر سائكة مستقرة مثل

الآزوت -15 ، والكاربون -13 ، والاكسجين -18 كمعالم في التجارب حول عملية الايض .
وأمكن مثلاً ادخال حوامض امينية مزودة بالآزوت -15 ، في غذاء الحيوانات التي تجري التجارب
حولها . وفيما بعد تقتل هذه الحيوانات ويستعاد الأزوت بطريق تكليس بعض من أنسجتها ثم
يوضع في مقياس طيفي للكتلة ، مما يتيح معرفة مدى ترسب الحوامض الأمينية المدروسة فعلاً في
هذا المقياس . وبالإمكان أيضاً عزل بعض الحوامض الأمينية ثم تحليل ما فيها من أزوت -15 ،
وذلك لمعرفة مدى مساهمتها في تحويل الأزوت .

وجرى التقاط هذه النظائر ، في بادئ الأمر بواسطة مقاييس طيفية للكتلة ، وكانت هذه
المقاييس عادية شائعة . الا انه في حوالي سنة 1945 فقط ، وعلى أثر ادخال تحسينات مهمة على
المعدات ، في الحقبة الواقعة بخلال الحرب العالمية الثانية ، ظهرت أجهزة مخصصة تماماً لهذه
العمل ، وبدأ العلماء باستعمالها بشكل شائع . وبدأت هذه المقاييس الطيفية للكتلة مفيدة جداً في
تحليل الخلاط المعقدة ، من الجزيئات ، كما يظهر ذلك في أجزاء البترول أو في مواد أخرى .
وفي بعض الأحيان قدم تحليل كميات صغيرة جداً معلومات ثمينة حول بنية المواد العضوية الطبيعية
المعقدة نسبياً .

الصدى المغناطيسي النووي - هناك خصوصية اكتشفت حديثاً هي الصدى أو الرجوع
المغناطيسي النووي (تراجع بهذا الشأن دراسة أ . بوير وأ . هرين ، في الفصل VIII من هذا
القسم) ، طبقت تطبيقاً ذا أهمية في مجال صنع الأدوات ، والدراسات الأولى حول العزم
المغناطيسي في الجزيئات النووية قد لعبت دوراً مهماً في تطوير الفيزياء النووية . وقد أتاحت
الاعمال التي قام بها ف . بلوش Bloch وأ . م . بورسل Purcell ، وضع طرق لقياس تواترات
الامتصاص النووي لبعض أشكال الطاقة . ولعبت هذه التقنيات دوراً مهماً في دراسات مسار
التفاعلات الكيميائية وفي وضع واستخدام بعض الأساليب التعريفية والتحليلية خاصة في الكيمياء
العضوية .

الصدى الالكتروني - في سنة 1944 لاحظ السوفييتي أ . زافويسكي ان صدى الدوامية
الالكترونية يمكن أن يظهر في جزيئات تحتوي على الكترونات غير مزدوجة . في حقل مغناطيسي
حقيقي تمتص مثل هذه الجزيئات مسابة المغناطيسية الطاقة انما بقيم خاصة ، تحت تأثير تغير في
اتجاه العزم المغناطيسي الناجم عن الدوامية لالكترونية . وفي حين يبدو هذا الصدى الالكتروني
بدون معنى في التحليل التقليدي ، الا انه في دراسة الجذور الحرة والايونات المعقدة ، قد أظهر
عن منفعة حين قدم معلومات بنوية لا يمكن الحصول عليها بطرق أخرى .

4 - الاستشراب

الاستشراب الامتصاصي - رغم أن الامتصاص التفاضلي للمواد الملونة ، فوق ورقة نشافة
قد استخدم من قبل ، وبشكل عرضي لغايات تجريبية ، فإنه فقط في أواخر القرن التاسع عشر
بدأت ظاهرة الامتصاص تصبح موضوع دراسة منهجية . في هذا الحين لاحظ باحثون مختلفون
وجود تغييرات في تركيب بعض المحاليل عندما تعجتاز أعمدة من مادة ذروية مثل الفحم والصوان

والألومين ، الخ . وفي حدود السنوات 1900 درس علماء كيمياء اميركان وروس والمان إمكانية فصل أجزاء البترول بواسطة تقنيات الامتصاص .

وفي العقد الأول من القرن استخدم العالم النباتي الروسي ميشال سويت Tswett (1872-1919) الفصل الألوان النباتية . وقد ذوب المستحلب المدروس في أثير البترول ، ثم مرر سويت هذا المحلول في عمود من الجمار الممتص مثل السلولوز ، وكربونات الكلسيوم ، الخ . الموجودة في أنبوب من الزجاج . وظهر نوعان من الكلوروفيل هما الكاروتين والكسانثوفيل في العمود بشكل مناطق ملونة . وأمكن عزل هذه الألوان بالفصل الميكانيكي وبالتذويب في الكحول . ورغم ان سويت قد استعمل بشكل واسع التسجيل التلويني عن طريق الامتصاص في أعماله اللاحقة ، الا ان هذه التقنية قلما استخدمت قبل سنة 1930 وهو التاريخ الذي عمم فيه ريشار كوهن Kubn استخدامها في فصل مختلف المنتجات الطبيعية .

واهتم المتخصصون في الكيمياء العضوية وفي الكيمياء الاحيائية اهتماماً كبيراً بالألوان النباتية وبالمركبات الجنسية وبالحوامض الصفراوية المرارية وبالبروفيرين والانزيمات . ثم ان التسجيل التلويني بواسطة الامتصاص قد استخدم بشكل واسع من أجل حل المزائج ومن أجل الثبت من انسجامية ومن تركيز المواد التي لا توجد الا بشكل بقايا أو آثار ضئيلة . الا ان هذه التقنية لم تكن متلائمة مع التحليل الكمي .

ولما كان العديد من المركبات العضوية لا لون له فقد انصب الاهتمام على فحص المناطق التي لا لون لها في العمود . وفي سنة 1934 استخدم التشيع أو التنوير المضئ بواسطة الضوء فوق البنفسجي وذلك في مختبرات كارير Karrer ووترشتين Winterstein ولاحظ تراب Trappe ان الحامض الصواني المطعم بمذيب يفقد شفافيته المغشية في كل المناطق الماصة . وفي سنة (1936) فكر زيكمايستر Zechmeister بإخراج العمود من الأنبوب ثم تطبيق منشطات مميزة على طول الراسات ، بواسطة ريشة الرسم .

التحليل الجبهي والاستشراب بالشطف elution المتجزئ - أدخلت هذه التقنيات في السويد بعد 1945 على يد آ . تيليسوس ومساعديه . وتقتضي تقنية التحليل الجبهي القياس الدائم لمؤشر الانحراف في السائل الخارج من العمود . وتعكس التغيرات في مؤشر الانحراف تغييرات في تركيب العصاره التي أخذت خارج العمود بفعل الشاطف eluent .

وبدت هذه الطريقة مفيدة جداً من أجل فصل ومن أجل التحليل الكمي للمحاليل السكرية ، ومتنوعات التحليل الكهربائي للبروتينات ، ولرواتب الحوامض الدهنية والكحول الالفاتية (aliphatique) . ان الاستشراب بالشطف المتجزئ ، رغم مماثلته في مبدئه للتحليل الجبهي ، فإنه يحقق تطوير الاستشراب بواسطة مذيب سهل الامتصاص ، وأسهل من امتصاص المواد الموجودة داخل العمود . ومن جراء هذا تستبعد المناطق المموصصة أصلاً ، من العمود ، عند لحظة التظهير . ويحلل المحلول عند الخروج بقياس مؤشر الانحراف فيه .

الاستشراب المقسم - بحوالي سنة 1941 لاحظ الانكليزيان . ج . ب مارتن Martin ور .

ل . م . سينج Syngé انه ، رغم ان خلاط الحوامض الامينية يمكن أن تفصل بالقسمة بين سائلين غير قابلين للامتزاج ، مثل الماء والكلوروفورم - المتقلبة بعكس التيار فيما بينهما - فبالامكان الحصول على فصل أفضل إذا كان أحد السائلين قد امتص في عמוד مكون من مادة ذات مسام مثل مجعد الصوان . ان هذه الطريقة كانت فعالة بشكل خاص في فصل الحوامض الامينية ، والحوامض الديكاربوكسيليكية ، والبنسولين ، و « الهكساكلورو- هيكسان » ، والحوامض الدهنية ذات الوزن الجزيئي الخفيف .

في سنة 1943 درس آ . هـ . غوردون ومارتن وسينج استخدام النشاء أو السلولوز كدعامة للمرحلة اللزجة اثناء عملية فصل الحوامض الامينية . واكتشفوا ان الورق الشاف يشكل دعامة ممتازة يمكن عبرها كشف موقع الحوامض الامينية المختلفة وذلك عن طريق ذر النينهدرين ، واستخدم الرسم التلويني التقسيمي على ورق ، وبدأ مفيداً جداً في فصل وفي تحديد طبيعة المركبات الوسيطة التي تظهر اثناء تشكل هيدرات الفحم وبشكل عام في كل دراسات عمليات الابيض . وأمكن تطبيق هذه التقنية على تحليل المواد بكميات ضعيفة جداً والتي قد تصل إلى حدود واحد على ألف من الملغرام .

الاستشراب في مرحلة البخار - ان هذه التقنية الجديدة قد وضعت سنة 1952 على أثر الاعمال التي قام بها آ . ت . جامس James ومارتن . انها نوع من التدوين التلويني التقسيمي تكون المرحلة المتحركة فيه غازية . واستخدم جامس ومارتن مرحلة سائلة من زيت السيليكون وحامض الستارك الذي يدفع عموماً من الكيسلغور Kieselguhr لفصل مرحلة بخارية مكونة من حوامض دهنية متطايرة تتحرك ضمن تيار من الأزوت . ان التركيب من حوامض الغازات المقدوفة ، قد قيس بفضل نظام كشف خاص .

اعتمد جامس ومارتن هذه التقنية لتحليل الامينات المتنوعة المتطايرة وتحليل مثيلات البيريدين . واستخدم علماء الكيمياء البترولية هذا النمط من الاستشراب في تحليل خلاط الهيدروكربورات المتطايرة . وهناك جهاز لدرجات الحرارة العالية قد صنع لتحليل خلاط بقايا الحوامض الدهنية .

وقد استخدمت تقنيات عدة لتسجيل التغيرات في تركيب الغاز السائل . إن الخلايا ذات التوصيل الحراري (الكاتارومتر) بدت سهلة الإستعمال بشكل خاص . وقد حقق الهنغاري س . كلاسون ميزاناً للكثافة الغازية ، في حين تم إستخدام محلل تحت الأحمر في مختبر مارتن . وهناك لاقطات أخرى تستخدم النشاط الإشعاعي ، والحرارة الذاتية ، والزخم السطحي ، والتأين في لهب الهيدروجين ومقاومة التيار .

وبخلال السنوات العشرين الأخيرة أصبح الاستشراب في المرحلة البخارية ، بالنسبة إلى الكيمياء التحليلية ، أداة قوية ذات تطبيقات متنوعة ، واستعماله قد اتسع كثيراً . ويفضل هذا التصوير أمكن تحقيق تحليلات دقيقة عديدة وبشكل شائع : أجزاء البترول ، الحوامض الدهنية ، إلخ . ، ثم القيام بتحليل المواد الطبيعية التي كانت دراستها صعبة حتى ذلك الحين وعرضة

لأخطاء الكثيرة . مثلاً المواد ، الخفيفة الأثر ، والتي هي مسؤولة عن توازن رائحة البصل ، والفريز أو اللحم .

5- النظائر في الكيمياء العضوية

استعمالها في التحليل - إن إمكانية التحكم بالنظائر المركزة المستقرة أو ذات النشاط الإشعاعي قد أتاحت للتحليل كي يصل إلى تقدم كبير ، لم يكن بدونها ممكناً (راجع الفقرة II) . ان التطبيقات العملية التحليلية للنظائر تنقسم وفقاً لتقنيتين رئيسيتين هما : التحليل عن طريق التذويب النظيري والتحليل التنشيطي . وعلى العموم تفضل النظائر ذات النشاط الإشعاعي بالنسبة إلى التحليل التذويبي النظيري ، لأنها يمكن أن تكتشف بدون مطياف خاص بالكتل .

تقنيات تحديد التاريخ - ان طريقة تحديد التاريخ أو العمر بواسطة الكربون المشع قد وضعت سنة 1949 من قبل ويلارف . لبي Libby من جامعة شيكاغو الذي استعمل واقعة ان الأجسام العضوية الحية تحتوي على نسبة ثابتة من الكربون -14 من أجل تحديد عمر المواد الحفرية الأثرية والجيولوجية . ولما كانت الحياة الوسطى للكربون -14 هي 5760 سنة ناقص أو زائد 50 سنة ، وان هذا العنصر لم يعد داخلًا ضمن تكوين النباتات والحيوانات بعد موتها ، فإن تراجع النشاط الإشعاعي يمكن ان يربط بعمر شيء يحتوي على كربون .

وقد استخدمت النظائر المشعة لتحديد عمر مواد أخرى . فقد استخدمت نسبة الاورانيوم -238 إلى الرصاص -206 لتحديد عمر الصخور التي تحتوي على الاورانيوم . واستخدم هارولد اوري Urey التغيرات الطارئة على المناخ عبر العصور الجيولوجية وذلك بقياس تركيز الطيشور من مادة الاوكسجين -18 . واستطاع لبي ان يحدد عمر الماء والخمر والمنتجات الزراعية الأحفورية وذلك بقياسه لما تحويه من تريتيوم أو الهيدروجين المثلث (^3H) .

٧- الكيمياء المعدنية

1- نهضة الكيمياء المعدنية

بخلال الثلث الأول من القرن العشرين لم تعرف الكيمياء المعدنية الا تطوراً محدوداً . فدراستها لم تكن تجذب كما تجذب دراسة الكيمياء العضوية أو الكيمياء الفيزيائية الباحثين الشبان . وخارج مفاهيم التوافق التي قال بها الفرد ورنر Werner والتي لم تفهم حقيقتها الا ببطء ، لم تثر الدراسات الملاحقة الا القليل من الاهتمام . وتغير هذا الوضع بسرعة في منتصف القرن . ان وجود نظريات مختلفة حول الاتصال أدت إلى دراسة العديد من المركبات التعدينية من أجل الحصول على عناصر تفسيرية قوية . وأتاح ظهور سرعات الجزيئات استخدام النظائر المشعة لدراسة المسائل التي لم يكن بالإمكان التطرق إليها حتى ذلك الحين . ان الاعمال الضخمة التي أدت إلى انتاج السلاح النووي قد أثارَت طلباً ملحاً على العناصر وعلى المركبات القليلة الشبوع والتي كان لا بد من دراسة خصائصها بعناية . وأدى تطور الصناعة أيضاً إلى تطبيقات جديدة لعناصر متنوعة شائعة ، مع الكشف عن الاحتياجات إلى بعض العناصر التي كانت غير شائعة حتى ذلك

الحين . وبفضل هذه العوامل المختلفة ارتدى البحث في الكيمياء التعدينية أهمية وسار بقوة ويشكل لم يعرف من قبل ومنذ زمن بعيد .

2 - مشاكل البنية والتواصل

مركبات ورنر المعقدة - ان حالة الجمود التي هيمنت على الكيمياء التعدينية بقيت بخلاف الثلث الأول من القرن العشرين وذلك بسبب غياب أو عدم وجود نظرية حول الاتصال الكيميائي . ورغم ان الكيمياء العضوية قد افترقت هي أيضاً إلى مثل هذه النظرية ، فانها منذ 1860 قد حققت نجاحات ملحوظة بفضل النظريات البنوية المنبثقة عن أفكار كيكولي Kekulé وبوتليروف Boutlerov ، وفانت هوف ولبيل Lebel وآخرين .

وبالمقابل المتخصصون في الكيمياء التعدينية الذين كانوا ينظرون إلى العديد من العناصر المختلفة ، وقعوا في الخطأ نتيجة اسرافهم في استعمال مفاهيم بنوية قال بها المتعصبون للعضوية .

ان أعمال السويسري الفرد ورنر Werner (1866-1919) ، والتي بدأت في العقد الأخير من القرن 19 قد فتحت الطريق أمام كيمياء تعدينية بنوية . وعهد ورنر إلى دراسة المركبات غير الطبيعية مثل الأملاح المزدوجة ومثل الهيدرات ومثل المركبات من الامونياك الجمعية . وانتهى بعد أن أخذ في الاعتبار توصيليتها ومختلف خصائصها الأخرى ، إلى الاستنتاج بأن أيون المعدن الرئيسي (وهو المركز المنسق) في هذه الجزيئات محاط بعدد ثابت وتميز من الجزيئات ومن الايونات (سميت فيما بعد المجموعات أو الروابط) .

من ذلك انه ، في مركب الصيغة $6\text{NH}_3 \cdot \text{CoCl}_2$ تحيط الجزيئات الستة من NH_3 بأيون الكوبالت مرتبطة به بما يسميه ورنر « الارتباطات الثانوية » لتشكل جميعاً الأيون $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{+++}$ الذي يمتلك درجة عالية من الاستقرار .

ان دراسات ورنر حول المركبات المعقدة من ايونات معدنية مع الأمونياك ، والهالوجينور والسيانور ، والنيتريت ، والاثيلين ديامين ، واوكزالات وغيرها من « الروابط » أدت إلى توافق مرضٍ بين الملاحظات التجريبية والنظرية البنوية .

رغم ان التميز الذي أدخله بين التكافؤات الأولية والثانوية لم يفهم ، قدم ورنر بعض الوضوح في الوضع الفوضوي الذي كانت عليه كيمياء المركبات المعقدة . وقد نجح في تصنيف الايونات المعدنية بحسب عدد المجموعات التي تحيط بها (مؤشر التناسق أو التنسيق) ، وفي التكهّن بالتوزيع الفضائي لهذه المجموعات ، توزيعاً مسطحاً ورباعياً وثمانياً ، الخ . وفي تفسير أشكال تشابه التركيب الملحوظ من قبله .

ما قدمته النظرية الدرية - ان تفسير تشكل الايونات المعقدة لم يلاق الانجاحاً محدوداً جداً نظراً لأن نظرية البنية الذرية لم تسجل تقدماً ملحوظاً داخل الكيمياء بالذات . ان الرابط الازدواجي الموثق والمباشرة أو المماثلة بين بنية الغازات غير المتحركة وبنية الطبقات الالكترونية السطحية

يتيحان تفسير المركبات الايونية والشاركية ، ولكنهما لا يستطيعان تفسير ارتباطات الايونات الاكثرت تعقيداً .

في حوالي سنة 1920 ذكر سيدويك ان المزدوجات الالكترونية غير المقسومة المقرونة بذرات مثل الاوكسجين في الماء ، والازوت في الامونياك ، والكبريت في الكبريتات ، كلها مؤهلة ضمناً لكي تكون متصلة بذرات تمتلك قشرات الكترونية سطحية غير مكتملة . في مثل هذه الخلائط تقتزن الذرتان في المزدوج بنفس الذرة ، انها حالة متناسق (أو ترابط اتساقى) .

وبخلاف العقد الثالث من القرن العشرين فسرت البنية الذرية بواسطة الميكانيك ، وحالة كل الكترون قد تميزت بأربعة اعداد كمية : الرئيسي ، السمتي ، المغناطيسي والدوامي .

ان مبادئ الاستبعاد التي قام بها و . بولي أوضحت ان الكترونين في نفس النظام لا يمكن ان تكون اعدادهما الكمية الأربعة متشابهة في نفس اللحظة . ان قاعدة التعددية القصوى التي اعلن عنها ف . هوند Hund سنة 1925 ، افترضت ان الكترونات خاصة تملأ كل المدارات الشاغرة (والمسماة s, p, d, f) في طبقة داخلية معينة قبل أن تقتزن بالكترونات من دوامات متعارضة يمكن أن تستجد .

ان نظرية الارتباط بدأت عندئذ تنظر إلى قسمة الالكترونات لناحية ملء المدارات . عندما ينطبق الكترونان يجمعان الدوامات المتعارضة ضمن مدار معين عن ذرتين مختلفتين ينتج عن ذلك ارتباط ثنائي الكتروني . ان مسألة الارتباط الكيميائي قد عولجت من ناحية الميكانيك الكمي من قبل و . هايتلر وف . لندن سنة 1927 . وهذه الدراسة التي أجريت على جزيء من الهيدروجين قد وضعت من قبل بولنغ Pauling وSlater فشملت أنظمة أكثر تعقيداً . ان تصور هايتلر ولندن ، المستلهم من الذرة أساساً ، تناول تركيز الالكترونات المقترنة بين ذرات مرتبطة وتناول الخصائص الانتاجية للارتباطات وتناول بنية جزيئية تبرز طبيعة الذرية الأساسية في النظام . وهناك تفسير مختلف قليلاً قدمه ف . هوند و . س . موليكين Mulliken وج . ي . لينار - جونس Lennard-Jones بواسطة مفهوم المدارات الجزيئية . هذه النظرية المؤسسة على سلوك الالكترون في الحقل المحدث بفعل النواتين في جزيء الهيدروجين ، ارتأت بناء جزيئات أكثر تعقيداً بجمع الالكترونات داخل المدارات المتتالية كما في الأنظمة الذرية .

ودرس هؤلاء الباحثون سلوك الالكترونات المحتمل ، هذه الالكترونات المدخلة في الحقل الكهربائي الذي يحيط بنواتين واستنتجوا انه بالامكان الافتراض بأن نظام المدارات الجزيئية يدخل في عملية الربط أو الوصل . وتستطيع الالكترونات الوصل عندئذ ان تتحدد بواسطة الاعداد الكمية الجزيئية مع الكترونين من الدوامات المتعارضة التي تحتل مداراً والتي تشارك في ارتباط النوى . هذا المفهوم يعطي وصفاً أقل وضوحاً للوصل ؛ الا انه أفاد في تفسير بعض انماط المركبات وخاصة المركبات غير المشبعة .

وقد فسر الباحثون المختلفون الالكترون بأنه دالة على موجة مقرونة بحركة مدارية من أجل الحصول على تفسير أفضل للخصائص والاتصالات الالكترونية .

وقد لعب ماكس بورن في هذا المنظور دوراً مهماً بشكل خاص بفضل تفسيره الاحصائي لدالات الموجة . وقدم ج . ك . سلاترول - بولنغ مساهمات عديدة في تفسير بعض المركبات الخاصة بفضل الميكانيك الكمي .

ان مفهوم الرجوع أو الصدى قد أدخل من قبل و . هيسنبرغ سنة 1926 من أجل تفسير الحالات الكمية في ذرة الهليوم . ثم وسع فشميل المسائل الجزيئية ، لأن البنية البسيطة والتوزيع الالكتروني لا يستطيعان تفسير خصائص الجزيء . هذا المفهوم الموضح بفضل أعمال سلاتر وبولنغ وأ . هوكل ظهر مفيداً جداً في الكيمياء المعدنية كما في الكيمياء العضوية ، حيث لا يتيح الصيغة البسيطة الجامدة تفسير كل الخصائص .

ان مفهوم السمة الايونية جزئياً كان أيضاً مفيداً في تفسير الأجسام ذات الخصائص الوسيطة بين خصائص المركبات الايونية الخالصة وخصائص المركبات التشاركية الخالصة . في السنوات التي تلت 1930 نجح بولنغ في اثبات العلاقة بين السمة الايونية في ارتباط ما ، وبين الفرق في الكهرباء السلبية في الذرات المنظورة .

الارتباطات الخاصة - وضعت مفاهيم أخرى متعددة من أجل معالجة المسائل الصعبة في الارتباط الكيميائي .

ان نموذج الارتباط الهيدروجيني قدم من قبل و . لاتيمر Latimer وو . ه . رودبوش Rodebush لتفسير الخصائص غير الطبيعية في الماء ، والحامض الفلور هيدريكي ، وفي الكحولات وفي بعض المركبات الأخرى . وبين سيدويك عن طريق المطيافية ، والتحليل البلوري ان الارتباط الهيدروجيني كان حاضراً في حالات أخرى عديدة . وأقر بولنغ ان مثل هذه الارتباطات لا تتكون الا بين ذرات كهربائية سلبية قوية مثل ذرات الفلور والاكسجين والأزوت والكلور .

وهناك أنماط أخرى من الارتباط تثير الاهتمام أيضاً . من ذلك ان الارتباط بالكترون قد لعب دوراً مهماً في الجهود المبذولة لفهم بنية الهيدرورات البورية (نسبة إلى مادة البور) . كذلك الارتباط بين ثلاثة الكترونات وضع من أجل تفسير المغناطيسية الهامشية في جزيء الاوكسجين .

حالة الجعودية - ان استخدام البلورات كشبكات تفريق ذات أبعاد ثلاثة بالنسبة إلى الأشعة السينية قد جعل دراسة البنية البلورية . وأتاح النجاح الحاصل في تفسير البلورات البسيطة مثل الهالوجينور القلوي ، والماس والغرافيت والكوارتز ، مباشرة دراسة الجوامد الأكثر تعقيداً المعدنية والعضوية (يراجع بهذا الشأن دراسة آ . غينيه ، الفصل IV من هذا القسم ، ودراسة ج . أ . روسل ، الفصل II من القسم الثالث) . وهناك أعمال مهمة بشكل خاص تناولت بلورات مركبات السيليكات والحوامض المتعددة مثل السيليكوتنغستات والفوسفوتنغستات ، الخ .

ان المفهوم المفيد لدراسة التشكل ، وخصائص واستقرارية المركبات الايونية هو مفهوم الدورة الحرارية الديناميكية ، وهذا المفهوم أدخله م . بورن وف . هابر سنة 1919 . ان دورة

بورن - هابر تربط الطاقة البلورية بأبعاد حرارية ديناميكية أخرى مثل طاقة التأين في المعدن ومثل التآلف الإلكتروني غير المعدني ، ومثل حرارة تبخر المعدن ، وحرارة تفكك غير المعدن وحرارة تشكل المركب انطلاقاً من عناصر غازية ومشتتة .

الحالة المعدنية - في سنة 1916 قام هـ . آ . لورنتز بدراسة نظرية حول تروابط الذرات المعدنية ، وقد عاد بولي إلى هذه الدراسة بطريقة أكثر اقناعاً بعد عشر سنوات .

وبفضل الميكانيك الكمي أمكن تفسير المعادن كنوى ذرية (النوى محاطة بقشرات مشبعة بالالكترونات) محصورة في فضاء من الالكترونات يستعمل كقوة رابطة بين النوى ، وقد ظهر هذا النمط منسجماً ومتوافقاً مع التوصيلية الكهربائية ومختلف خصائص المعادن الأخرى .

وقد أتاحت بحوث لاحقة توسيع وتوضيح المفاهيم المتعلقة بخصائص الحالة الجامدة . الا ان هذا المجال ما يزال يحتاج إلى الاستكشاف ليكتمل . فالمركبات بين المعادن كانت موضوع دراسات واسعة قام بها ج . تامان Tamman ، و . و . ل . براغ Bragg وهـ . آ . بيت Bethe ، وهيم - روثنى Hume-Rothney . ان الموصلات النصفية قد أثارت أيضاً تياراً مهماً من البحوث حول الحالة الجامدة (راجع بهذا الشأن دراسة آ . غينبيي ، الفصل IV ودراسة ب . مارزين الفقرة VIII من الفصل IX من هذا القسم) .

3 - ملء وتوسيع الجدول الدوري

الثغرات في الجدول الدوري - في بداية القرن العشرين كان هناك عدد مهم من الثغرات في الجدول الدوري . ولم يسمح اكتشاف الغازات الجامدة الحيادية الذي جرى بخلال العقد الماضي من قبل و . رمسي Ramsay ، وج . و . ستروث Strutt (لورد رايلي ، 1842-1919) بسد أية ثغرة لأن هذه العناصر الجديدة قد وضعت مجموعة تكميلية (مجموعة O) في الجدول الدوري . ان العناصر ذات الاشعاع النشط التي بدأ ظهورها يُكتشف قد طرحت مشاكل صعبة طيلة جهل الناس بأنها تشكل بدائل مختلفة لعناصر كان الكثير منها معروفاً من قبل . ان هذه الصعوبة قد زالت نهائياً باكتشاف النظرية isotopie .

اكتشاف العناصر الناقصة - بحوالي سنة 1920 كان هناك ستة مراكز شاغرة تتوافق مع العناصر 43 ، 72 ، 75 ، 85 ، 87 ، وكلها تسبق الاورانيوم (الذي هو العنصر 92) في الجدول الدوري .

ورغم ان غالبية هذه العناصر كانت قد اكتشفت قبل 1895 ، فإن عناصر التريبات النادرة ظلت تثير بعض الصعوبات . في بداية القرن لم يعرف الكيميائيون بالتأكيد عدد عناصر هذا النمط الذي كانوا مضطرين إلى افتراض وجوده . وحُلت المسألة سنة 1923 . ولكن منذ سنة 1914 بينت أعمال موزلي Moseley انه يوجد عنصر مجهول بين النيوديم والسماريوم (المرتبة 61 من الجدول الدوري) ان هذا العنصر قد بُحث عنه حوالي السنوات 1925 ، ولكن عدة ادعاءات متعلقة باكتشافه بدت غير ذات أساس . وانه في سنة 1947 كشف ج . آ . مارنسكي Marinsky ول . ا . غلندينين .

Glendenin وش. د. كوريل Coryell ، عنه في بعض بقايا الانشطار النووي . وأعطى اسم زوميثيوم يومئذ .

ان المخطوط الطيفية للعنصر 72 قد ذكرها ج . اوربين Urbain سنة 1922 في بقايا التريبات النادرة . ولكن ن . بوهر ارتكز على النظرية الكمية ، فأكد انه لا يمكن ان يتعلق الأمر هنا بعنصر من عناصر التريبات النادرة . فاقترح على ج . فون هيفيسي ان هذا العنصر 72 قد يتواجد في ركاز الزير كونيوم . وبعد سنة 1923 نجح هيفيسي ود . كوستر Coster في عزل العنصر المجهول وهو الهافنيوم فأكد بالتالي هذه النبوءة .

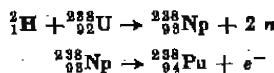
ان اكتشاف العنصرين 43 ، و 75 قد أعلن سنة 1925 من قبل و . نوداك Noddack وإ . تاك Tacke وو . برغ Berg . ان هذه المطالبة بدت مبررة بالنسبة إلى العنصر 75 وهو الرانيوم ، ولكنها لم تتأكد بالنسبة إلى العنصر 43 . وقد تم اكتشاف هذا الأخير من قبل ي . سيفريه E. Segré وش . بيريه C. Perrier في عينة من الموليبدن Molybdène التي ظلت تُخلّف طيلة عدة أشهر بالدوتون ضمن سيكلوترون . هذا العنصر الذي عُثر عليه فيما بعد ضمن بعض منتوجات انشطار الأورانيوم سمى تيكينسيوم من قبل سيفريه وبيريه Perrier سنة 1947 .

وبين 1920 و 1930 أعلن عن اكتشاف العنصرين 85 ، و 87 على عدة دفعات . ولكن هذه المعلومات بدت غير صحيحة . وانه في سنة 1937 فقط استطاعت مرغريت بيرى Perey في مختبر كوري ان تثبت يقيناً وجود العنصر 87 كنتائج تفكك في مستحضر من الاكتينيوم . وسمي هذا المستحضر في بادئ الأمر اكتينيوم K من قبل م . بيرى ، ثم أخذ اسم فرانسسيوم . ومنذ 1940 حصل في جامعة كاليفورنيا كل من د . ش . كارسون Carson ، وك . ر . ماكنزي Mackensie وسيفريه على العنصر 85 وذلك بقذف اليسموت بجزيئات α ألفا ولكن هذه النتيجة الأولية لم تتأكد الا سنة 1947 . وعندها سمي هذا العنصر أستانات نتيجة عدم استقراره .

العناصر فوق الأورانيوم - في اللحظة التي تم فيها استكمال الجدول الدوري الكلاسيكي ، كان قد بدأ توسيعه إلى أبعد من الأورانيوم .

في سنة 1940 عزل أ . م . ماكميلان Mcmillan وب . آيلسون Abelson من كاليفورنيا من ورقة من الأورانيوم كانت قد قُذفت بالنيوترونات ، نظيراً يث أشعة β (Beta) . وتبين ان هذا النظير هو العنصر 93 ، وسمي يومئذ نبتونيوم .

ان العنصر 94 (بلوتونيوم) ينتج ظاهرياً عن تفكك النبتونيوم الخاضع لأشعة Beta ، ولكن السلم المختصر الناتج عن التجارب الأولى المحققة لم يُفصح عن اكتشافه . وحضر منه ج . سيورغ ، وآ . ش . واهل ، وج . ش . كينيدي كميات ملحوظة وذلك بقذف الأورانيوم بدوتون وفقاً لما يلي :



ان مجموعة سيبورغ من جامعة كاليفورنيا حضرت أيضاً البلوتونيوم 239 ثم تبين انه قابل للانحطاط بتسرونات بطيئة . وبينت هذه المجموعة فيما بعد ان البلوتونيوم موجود في الطبقات الطبيعية من الاورانيوم ، الناتج ربما عن القذف التعرضي بتسرونات أو الناتج عن تفكك الاورانيوم - 239 المنبثق عنه .

سنة 1944 ، حضر سيبورغ ، ور . آ . جايمس وآ . غيورسو Ghiorso تبعاً للعنصر 96 ، الكوريوم (بواسطة قذف البلوتونيوم - 239 بجزيئات ألفا) ثم العنصر 95 المسمى أميريكيم .

العنصر 97 (البركيلوم) حصل عليه سنة 1949 سيبورغ ، غيورسو وس . ج . طومسون بواسطة قذف الأميريكيم - 241 بالهليونات . وفي سنة 1950 حضر الباحثون المذكورون مع ك . ستريت جونور العنصر 98 (كاليفورنيوم) وذلك بقذف كورسوم 242 بالهليون . ان العنصرين 99 (انشانيوم) 100 (فرميوم) قد اكتشفا في العينات من عناصر ثقيلة منبثقة عن الانفجار الحراري النووي التجريبي الذي حصل في تشرين الثاني سنة 1952 . وهذا العمل الذي أنجزته مجموعات من كاليفورنيا هي : مختبر أرغون ومختبر لوس ألاموس لم يكشف عنه في الولايات المتحدة من قبل لجنة الطاقة الذرية الاميركية الا سنة 1955 . وأشار إلى اسماء ستة عشر عالماً ساهموا في هذا الاكتشاف .

في سنة 1955 اعلن أيضاً غيورسو وب . ج . هارفي وج . ر . شوين وس . ج . طومسون ، وسيبورغ انهم حضروا 17 ذرة من العنصر 101 الذي هو المنديليقيوم وذلك بقذف الانشانيوم - 253 بالهليونات . وأعلنت مجموعة دولية سنة 1957 انها اكتشفت العنصر 102 ولكن هذه النتيجة لم تتأكد . وفي سنة 1958 أعلن جيورسو وس . سيكلاند وج . ر . والتون وسيبورغ عن انتاج هذا العنصر (بشكل نظير 254) وذلك بقذف الكوريوم - 246 بأيونات الكربون 12 بواسطة المسرع الخطي ذي الايونات الثقيلة في جامعة كاليفورنيا . وذكر ج . فليروف Flerov وفريقه في الاتحاد السوفياتي اكتشاف نظير مماثل بقذف البلوتونيوم بأيونات الاوكسجين .

ان العنصر 103 (لورنتيوم) قد عثر عليه سنة 1961 غيورسو وأربعة من مساعديه في جامعة كاليفورنيا وذلك بقذف الكاليفورنيوم بنوى البور .

ان دراسة الخصائص الكيميائية في العناصر فوق الاورانيوم قد دلت على ان هذه العناصر هي على صلة وثيقة بالعناصر من السلسلة الثانية من التراتب النادرة .

وهذه القرابة المعزوة إلى الاحتلال الكامل للمدارات 5f ، تشمل بالواقع عناصر قبلية تصل إلى الاكتينيوم وهو العنصر 89 ، ولكن المماثلة مع العناصر المطابقة ليست واضحة جداً . فقبل اكتشاف العناصر الاصطناعية عبر الأورانية مثل الاكتينيوم والثوريوم والبروتاكتيوم والاورانيوم ، كانت تعتبر مماثلة لعناصر النقل المنتظم .

4 - مجالات خاصة في البحوث

عناصر التراتب النادرة - بخلال القسم الأول من القرن كان الاهتمام كبيراً بالعناصر من

التربات النادرة لأن مشابهتها القوية طرحت مسألة كيميائية شاغلة نوعاً ما .

في بداية القرن بقيت بعض الاستطلاعات محتاجة إلى الاكمال . فالسماريوم الذي أشير إليه سنة 1886 من قبل بوابودران ، قُسم إلى ترينتين : السماريوم والاوروبيوم . وذلك من قبل أ . آ . ديمارسى سنة 1901 ، وفصل الايتروبيوم الذي اكتشفه مارينيك إلى نيوتريوم (عُرِف فيما بعد باسم ايتاريوم) واللوتيسيوم من قبل ج . اوربين سنة 1907 . وحقق ش . اورفون ولسباك Welsbach هذا الفصل بالذات في حين ان اللوتيسيوم كان حُضر أيضاً في أميركا من قبل شارل جايمس .

وأصبحت الاكتشافات كلها حول التربات النادرة متنتية الآن الا بالنسبة إلى العنصر 61 . ولكن هذا الأمر لم يظهر مباشرة . فالاهتمام بهذه العناصر قد خف .بخلال العقود التالية رغم متابعة بحوث منهجية في مختبرات اوربين ولوسباك وجايمس وب .س . هوبكنز Hopkins . ان توضيح بنيتها الالكترونية قد أتاح القول بأن تماثلها الشديد يعود إلى ان مداراتها 4f مشغولة بكاملها .

والبحوث المخصصة للطاقة النووية بخلال الحرب العالمية الثانية كشفت ان انشطار الاورانيوم يحدث اجزاء غنية بالنظائر التي تقع في منطقة التربات النادرة في الجدول الدوري . ولحسن الحظ أتاح وضع تقنيات تبادل فصل الكاسيونات في التربات النادرة بشكل مريح .

ومن تحديد هذه الكاسيونات في المركبات العضوية المعدنية بحالة السيرات ثم مراقبة الـ pH بصورة واعية أمكن تحقيق فصل العناصر في الارقام الذرية المتتالية بواسطة صمغ يتبادل الايونات . وبعد الحرب قام ف . هـ . سيدنغ Spedding في المعهد الذري للدراسات في كلية ولاية أيوا في الولايات المتحدة بفصل هذه العناصر بكميات وافرة . وذلك من أجل مباشرة الدرس المنهجي لمعرفة الكيمياء والتعدين فيها .

التقدم في المعرفة وفي استخدام المعادن - في حين ان الكثير من العناصر لم تكن الا موضوع دراسات خفيفة ، فإن هذه الاعمال قد حفزت فجأة باكتشاف الانشطار النووي .

وأدى تطوير هذه التقنية إلى وجوب الحصول على معلومات دقيقة حول عناصر متنوعة لم تكن حتى ذلك الحين قد أثارَت إلا القليل من الاهتمام . وأتاح هذا التطور أيضاً الحصول على عناصر لم يكن بالإمكان عزلها من قبل ، الا بصعوبات كبيرة . ان البقايا الحاصلة اثناء انشطار الاورانيوم - 235 والبلوتونيوم - 239 قدمت كميات لا يستهان بها من النظائر الواقعة في المنطقة ، من الجدول الدوري ، بين الكريبتون والتربات النادرة . ان جاهزية النظائر المشعة قد حفزت أيضاً ، وفي كل المجالات من الكيمياء المعدنية العديد من البحوث التي لمولها لكانت صعبة أن لم تكن مستحيلة .

وتجدد الاهتمام وبرز بخلال القرن بالنسبة إلى بعض المعادن المعروفة منذ زمن بعيد ولكن ليس كثيراً لأنها لم تكن موضوع درس إلا بصورة عارضة . يضاف إلى هذا الاهتمام في أغلب الأحيان اهتمام بالاوساط الصناعية بحثاً عن معادن جديدة ذات خصائص غير معروفة أو الحصول على تطبيقات عملية لبقايا العناصر الموجودة في بعض الركازات الطبيعية .

رغم ان الانتاج الصناعي للألومنيوم قد بدأ في القرن التاسع عشر بفضل أسلوب هال - هرولت Hall-Héroult في تحليل الألومين المذاب في الكريوليت المذوب ، لم يكتسب هذا المعدن أهمية حقيقية الا بعد نهضة الطيران . فهو يستعمل بشكل خاص بشكل مزائج alliages خفيفة ذات مقاومة قوية ، نحصل عليها بإضافة النحاس ، والمنيزيوم والمنغنيز .

وهناك معدن آخر خفيف ، المنيزيوم ، ارتدى أهمية مع تطور الطيران . وقد اشتهر باديء الأمر ، في ألمانيا وفي الولايات المتحدة ، انطلاقاً من محلول الملح المركز Saumures ، وبفصل كلورور المنيزيوم عن الاملاح الأخرى بالتبلر ، ثم بالتحليل كهربائياً . وبخلال الثلاثينيات ، بدأت شركة دُو Dow الكيميائية باستخراج المنيزيوم من ماء البحر . وماء البحر الذي يحتوي على 0,13% من أيونات المنيزيوم ، قد عولج في بادئ الأمر بالكلور . ثم يُهَوَّى لتغيير مكان البروم ، ثم يعالج أخيراً بالكلس لكي يرسب المنيزيوم بشكل هيدروكسيد ، ويقبل هذا الناتج الأخير إلى كلورور المنيزيوم الذي يسحب ماؤه ، ثم يحلل بالكهرباء . وبخلال الحرب العالمية الثانية ، حضر المنيزيوم أيضاً بتكلس كربونات المنيزيوم ، ثم تقليص الأوكسيد الحاصل بالحديد الصواني (أسلوب بيدجون Pidgeon) أو بالكربون (أسلوب هنسغيرغ Henssling) . الا ان أيأ من هذه الأساليب لم يعيش بعد هذه المرحلة ذات الاحتياجات الكبرى .

والتيتان ، وهو العنصر الثاني في ترتيب الغزارة في القشرة الأرضية ، مزود بمقاومة ممتازة عند السحب وهو ذو ثقل نوعي يكاد ينوف على ثقل الألومنيوم . ولكن استخدامه صناعياً محكوم بفعل صعوبة استخراجه . وتم التوصل إلى نجاح جزئي في هذا السبيل على يد و . ج . كروول W. G. Kroll الذي استطاع تخفيض كلورور التيتان بالتسخين مع مزيج من المنيزيوم والصوديوم في جو جامد من الأرجون أو الهليوم .

ان أسلوب كروول قد اعتمد أيضاً في تحضير الزيركونيوم من أجل استخدامه في المفاعلات النووية . ولكن ركازات هذا المعدن ملوثة بآثار من عنصر مجاور هو الهافنيوم ، المزود ببطانة امتصاصية قوية للنيوترونات ، والذي يجب من جراء هذا استبعاده تماماً قبل استخدام الزيركونيوم . وكانت هذه الصعوبة في أساس بحوث واسعة جداً حول خصائص الزيركونيوم والهافنيوم .

وحدهما معدنان قلويا ، الصوديوم والليثيوم قد انتجا بكمية تستحق الذكر . واستعمل الليثيوم في استخراج عامل مخفض ، الهيدرو المضاعف ، من الألومنيوم ومن الليثيوم ($LiAlH_4$) ، وهيدرو الليثيوم LiH ، وهو مصدر قوي للهيدروجين سهل نقله . وصنع القضابل الهيدروجينية قد استعان بشكل واسع بالليثيوم ، كمصدر لمعدات الديوان عند تحويل النظائر الهيدروجينية إلى هليوم . ويبقى الصوديوم ، مع ذلك ، المعدن القلوي الأكثر استعمالاً . ويستعمل بشكل واسع في التركيب العضوي ، لصنع التريثيل الرصاصي المستعمل في الصناعة البترولية ، وفي صنع الملونات والمستحضرات الصيدلانية . والصوديوم ، بشكل سائل ، يستعمل أيضاً كمبادل للحرارة في المفاعلات النووية .

أشياء معادن تجارية جديدة - في حوالي منتصف القرن ، بقيت بعض أشباه المعادن ، حتى

ذلك الحين ، بدون دراسات دقيقة ثم أخذت تثير الاهتمام . تلك هي حالة الجرمانيوم والسيليسيوم واليور بشكل خاص .

لقد استخدم السيليسيوم ، منذ أكثر من قرن كعنصر في مزيج حديدي يقاوم الحوامض ، أو بشكل حديد صواني Ferrosilicium ، وكمحول في صناعة الفولاذ . ومنذ اكتشاف الترانزيستور ، أخذت الصناعة الالكترونية تطلب كميات ضخمة من السيليسيوم والجرمانيوم . ان درجة النقاوة العالية جداً المطلوبة لاستخدام هذه المعادن في بناء عناصر مزودة بخصائص مميزة ، اقتضت بحثاً مهماً . وتحقق تقنيات مثل التنقية بتدوير المنطقة fusion de zone (تقنية المنطقة المدوبة) أدى إلى التعرف في العناصر النقية جداً على خصائص لم تكن معروفة من قبل .

وقامت بحوث ناشطة أيضاً حول البور ، عندما ظهرت تطبيقات جديدة . ودخل هذا العنصر في تركيب بعض أنواع الفولاذ الصلبة . ونيترورات البور مفيدة بشكل خاص من جراء تشابهها مع الكربون . واحدها ينتج من جراء تحلل مركبات مثل تريامين البور $B(NH_2)_3$ ، يظهر نفس بنية الغرافيت البلورية . وآخر ، هو البورازون ، يملك بنية بلور الماس ، انما ذو صلابة أعلى . ومن المعروف انه عندما ترتبط ذرة من البور بذرة من الازوت ، يكون لهما نفس العدد من الالكترونات التي لذرتين من الكربون ، وان أحجام هذه المجموعات متماثلة . والمماثلة مع الكربون لوحظت فيما بعد في البورازين $B_3N_3H_6$ الذي تشبه بنيته بنية البنزين . ان مركبات من هذا النوع تسمى المتصانفة . ان مفهوم التصانف هذا يفسر المماثلات في الخصائص التي قد توجد بين بعض المركبات التوليفية التركيبية المختلفة ظاهرياً .

هيدور البور وهيدور السيليسيوم - رغم أن العديد من الهيدوررات الصوانية قد اكتشفت في القرن التاسع عشر فقد بقيت هذه الاجسام بدون اهتمام خاص ، إلى أن قام آ . ستوك بدراساتها في برينسلو وفي برلين ، ونظراً لخاصتها التطايرية والاشعاعية فقد لجأ ستوك إلى تقنيات في أعماله حول هيدوررات البور ، وهي مجموعة من المركبات يصعب تحريكها .

وأبسط أنواع الهيدور البوري هو ما يسمى بالديبوران B_2H_6 ، وهو مركب كان موضوع دراسات عديدة من الناحية البنيوية . إن عدد الالكترونات المتوفرة من أجل الرط لا تكفي للوصول إلى أحد الانماط العادية من التشارك (Covalence) . وهناك ذرتان من الهيدروجين لهما وضع خاص ؛ والدوران حول الاتصال بور-بور Bore-Bore محدود . وقد حاولت نظريات مختلفة تفسير البنية الخاصة لهذا الجزيء : ارتباط بالالكترون (سيدريك ، وبولنغ) ، ارتباط بدون الكترون (ج . ن . لويس) ، بنية بشكل « جسر » (ديلثي Dilthey) ، ارتباط مزدوج بروتوني (بيتزر Pitzer) ونظرية مختلفة تتضمن قسيمة زوج من الالكترونات بين مدار الهيدروجين ومدارات ذرتين من البور (روندل Rundle) . وهذه المسألة التي تطرح نفسها أيضاً بالنسبة إلى بقية الهيدوررات البورية المعروفة ما تزال دون حل مرضٍ بشكل كامل . فضلاً عن ذلك إرتدت هيدوررات البور أهمية كبيرة لما تتمتع به من طاقة تجعلها مواداً مفضلة لدفع الصواريخ .

إن الدراسات حول هيدوررات البور جرت في شيكاغو سنة 1940 على يد ه . أ .

شليسنجر ، فأدّت إلى اكتشاف البور وهيدروور الألوميني $Al(BH_4)_3$ ثم اكتشاف بورو هيدروورات الصوديوم والبيوتاسيوم والمعادن الأخرى . ان هذه المركبات وكذلك هيدروور الليثيوم والألمومينيوم $LiAlH_4$ القريب جدا ، قد ظهرت كمصادر ثمينة للهيدروجين وللعوامل القوية المنقصة خاصة في الكيمياء العضوية .

السيليكونات - في مطلع القرن بين ف . س . كينغ Kipping من نوتنغهام أن تتر - كلورور الصواني يتفاعل مع منشطات غرينارد لتشكّل الكلوروسيلان العضوي وهو مركب احتلت فيه مجموعات عضوية محل ذرة أو ذرات من الكلور حول ذرة السيليبروم . وتحلّل هذه المركبات بالماء بسهولة لتشكّل مركبات أخرى تتكفّ بشكل سيليكون وهي مكثفات ليفية معقدة تمتلك خصائص عجبية بشكل خاص . وهذه المواد تستخدم صناعياً في صناعة الزيوت والورنيش واللدائن . وهناك مكثفات ليفية متشابهة تم الحصول عليها انطلاقاً من الجرمانيوم والقصدير .

مركبات الفليور - بعد اكتشافه من قبل مواسان Moissan سنة 1886 ، قلّما درس الفليور لسنوات طويلة نظراً لحدته وسُموميته .

وحدها أعمال ف . سوارتز Swarts في بلجيكا و . روف Ruff في ألمانيا تستحقّ الذكر . في سنة 1907 حضر سوارتز « الديكلورور ديفليوروميثان » . واستُخدم هذا المركب فيما بعد كمبرد حفز عندئذٍ البحوث حول الفليور ومركباته . وبعض المركبات العضوية التي استبدلت فيها الهيدروجين كاملاً بالفليور بدت غير ناشطة تماماً فدخلت من جراء هذا في الاستعمال الصناعي المتنوع كعازلات كهربائية وكمزيتات ولدائن جامدة تماماً ، الخ .

VI - الكيمياء العضوية

1 - التوجّهات العامة في القرن العشرين

في بداية القرن العشرين ، كانت الكيمياء العضوية بدون منازع ، الخصوصية الكيميائية ذات الحيوية الأبرز . ونهضتها عكست النجاحات التجريبية والنظرية المحققة في العقود الأربعة الأخيرة ، وهي حقبة أتاحَت فيها المفاهيم البنوية تحسّين معرفة المركبات الكربونية . هذا الواقع أدّى إلى التوسع السريع في صناعات الألوان التركيبية والمستحضرات الصيدلانية . ان هذا التطور الصناعي جرّ بدوره توسعاً جليداً في البحث الأساسي ، وذلك بتقديم العديد من المستحضرات الكيميائية المفيدة ، باعثاً على قيام طلب مهم على المستحضرات المعدة في الجامعات .

في الربع الأول من القرن العشرين كانت الكيمياء العضوية قبل كل شيء كيمياء عطرية ، عاكسة بذلك الاتجاهات البارزة في الصناعة ، وكون المركبات العطرية يمكن في أغلب الأحيان ان تحضّر في حالة من النقاوة مرضية ، بعكس المستحضرات الدهنية التي لم تكن تنقّى إلا بصعوبة بالغة . وبخلال السنوات التالية ، لم يعد القطران أو القار هو المصدر الوحيد للمواد العضوية الخام ، والعديد من المستحضرات الكيميائية قد حُضرت أما من الغاز الطبيعي أو من البترول ، وأما على أثر عملية تخمير .

وحتى سنة 1930 احتفظ البحث في الكيمياء العضوية بنفس الميزة التي كانت له بخلال العقود الثلاثة الأخيرة من القرن التاسع عشر . ويمكن ان نذكر فيها ميلاً بارزاً جداً نحو تركيب مركبات جديدة ، ودراسة خصائصها . ولكن هذه الاعمال التركيبية ، قد جرت في أغلب الاحيان بشكل عشوائي خالص ؛ وانه بعد الحرب العالمية الأولى فقط قد تمت مباشرة طرق معالجة أكثر قرباً من النظريات حيث كانت مفاهيم أوالبات التفاعل ، وحركية التفاعل ، والتفاعل المتبادل الالكتروني قد أخذت تلعب دوراً أساسياً . وادخال اعتبارات الكيمياء الفيزيائية غير ، بوضوح اكبر ، طبيعة البحث العضوي ، عند تحول الانتباه ، في منتصف القرن نحو مفاعيل الحافزات ، والمذيبات ، والتركيز في ايونات الهيدروجين ومختلف انماط المراكز التفاعلية .

واستفادت الكيمياء العضوية أيضاً من تحسين الطرق القديمة التحليلية ومن استخدام اجهزة جديدة للتحليل . ان وسائل التحليل الميكروسكوبي التصغيري التي ادخلها برغل Pregl قد اتاحت اجراء تحليلات دقيقة ، دونما حاجة إلى عزل وإلى التنقية المسبقة لكميات كبيرة من المتوجات . ان استعمال أدوات مثل البولاروغراف (المحلل الاستقطابي) ومقياس الطيفية التصويرية سبكترو فوتومتر) والمسجل الطيفي (سبكتروغراف) تحت الاحمر ، والسبكتروغراف الكتلي والمسجل التلوني (الكروموغراف) في مرحلة البخار ، قد أتاح الحصول بسرعة على المعلومات التحليلية التي لولاها لكنت صعبة التحقيق .

وعلى أثر استخدام هذه التقنيات وتبني هذه المفاهيم الجديدة أمكن ، في حوالي منتصف القرن ، حل بعض المسائل البنيوية ثم متابعة بحوث تركيبية أكثر فأكثر تعقيداً .

2 - تقدم التركيب

منشط غرينيار Grignard - من بين المناهج العديدة الجديدة التي أدخلت في مجال التركيب العضوي ، بدأ تفاعل غرينيار Grignard من الأكثر مرونة .

ان هذا التفاعل قد اكتشف ، في الواقع ، في أواخر القرن التاسع عشر من قبل ب . آ . باربييه P. A. Barbier الذي استخدم مركبات عضوية زنكية أثناء البحوث التركيبية ، وقد اعيق لكون المركبين الوحيدين سهلي التحضير ، وهما الزنك - ميثيل والزنك اثيل ، سرعياً الانتهاب جداً . ولاحظ ان مزيجاً من الهالوجينور دالكويل والمنيزيوم في الاثير يمكن ان يستخدم في أعمال التركيب محل الزنك - الكويل . وقام تلميذه فيكتور غرينيار Victor Grignard (1871 - 1935) بدراسة للتفاعل ، وقد درس في اطروحته للدكتوراه ، استخدام هذا المنشط في عدد من التراكيب ، وبخلال السنوات التالية ، بين غرينيار في نانسي ثم في ليون بأن المنشط المكون من الهالوجينور الكويل - منيزيوم يمكن ان يستخدم في العديد من التركيبات الهيدروكربور ، الهالوجينور الكويل ، الكحول ، الحوامض الخ . وباشكال متنوعة ، كشف تفاعل غرينيار عن مدى نفعة في التركيبات المخبرية .

وبشكل يودور اثيل منيزيوم ، استعمل منشط غرينيار أيضاً في التحديد التحليلي للهيدروجين

المتحرك . وانجر تشوغايف Tschugaev وتلميذه زيرويتينوف Zerewithinov طريقة مركزة على قياس الميثان المحرر .

التحويل - دُرست الهدرجة المساعدة للمركبات العضوية ابتداء من سنة 1897 من قبل پول ساباتييه Paul Sabatier (1854 - 1919) ، ومن قبل مساعديه وخاصة ج . ب . سنديرنس J. B. Senderens .

بين ساباتييه ان النيكل المقسم إلى حبيبات دقيقة هو مساعد أو حافظ فعال بشكل خاص من اجل هدرجة المركبات غير المشبعة في درجات حرارة عالية وتحت ضغط مرتفع . وأتاحت هذه البحوث تحقيق الهدرجة على مستوى عالٍ جداً ، وخاصة الزيوت النباتية ، من اجل انتاج الشحوم الغذائية .

على الصعيد التجريبي الخالص ، كانت الدراسات حول الهدرجة محدودة بالسلوك غير المنتظم الذي تسلكه المعادن المقسومة بدقة ، المستعملة كحواجز catalyseurs . ونجح م . راني M. Raney نجاحاً باهراً ، سنة 1927 ، حين صنع مزيجاً من الالومنيوم من شأنه أن يتحول إلى نيكل حافظ أو وسيط ذي صفة موحدة .

وقامت بحوث حول الهدرجة تحت ضغوطات عالية بفضل في . إيباتيف V. Ipatieff في الاتحاد السوفياتي ، أولاً ، ثم في الولايات المتحدة . وفي اميركا أجرى هـ . ادكينز H. Adkins أيضاً أعمالاً مفيدة حول الهدرجة . وكانت الهدرجة غير المساعدة ، هي أيضاً ، قد درست منذ بداية القرن .

وأشار ل . بوفولت L. Bouvault وج . ل . بلان G. L. Blanc بشكل خاص إلى طريقتهم في تحضير الكحول انطلاقاً من الاستير Ester بتحويل القسم الحامض في الجزيء باستخدام فعل الصوديوم على الكحول الاثيلية . وكان بوفولت أيضاً صانع اسلوب في تركيب الألدريد انطلاقاً من فورماميدات Formamides مطرودة أو منزوعة بفعل منشطات غرينيار Grignard .

ومنذ 1940 اكتشف هـ . أ . شليسنجر ومعاونوه مخفضات ناشطة للغاية مثل هيدرو البور والليثيوم وهيدرو الالومنيوم والصوديوم . واتاح هذا الجسم الاخير تخفيضات ذاتية خاصة تخفيض مجموعة كربونيل في مركب يحتوي على اتصال مزدوج . وكان استعمالها قد تم بفضل هـ . ش . براون H. C. Brown .

تكتيف ديلز - الدر Diels - Alder - لقد حصل في سنة 1928 اكتشاف مفيد جداً بفضل هـ . ديلز Diels وف . الدر Alder اللذين لاحظا ان البوتاديين يتكثف مع الأنيدريد ماليك ليعطي حامض تتراهيدروفتاليك .

واوضحت دراسات لاحقة وجود تفاعل عام جداً يتضمن الاضافة (1-4) من الديينات (Diènes) الى مركبات اثيلينية نشطة تعطشها بمجموعات كربونية ، وكربوكسيلية ، ونيترولية أو نيترو .

النجاحات التركيبية في نصف القرن - نحن لا نستطيع ذكر التفاعلات العديدة الاخرى المحققة بخلال القرن العشرين . ولكننا نكتفي بالقول ان التنوع الكبير في الامكانات التي قدمتها التفاعلات قد اتاح تحقيق تركيب جزيئات ذات تعقيد كبير .

وهذه بعض امثلة على الانتصارات التي حققها التركيب العضوي : تركيب الريبوفلافين (حققه بصورة مستقلة كارر Karrer ور . كوهن R. Kohn) ، حامض الاسكوربيك راخستين Reichstein (هاروث) ، تركيب الفاتوكوفول Tocophérol - α أو الفيتامين E (پ كارير Karrer ، آ . طود A. Todd . ول . ا . سميث L. I. Smith) ثم تركيب الفيتامين K (دوازي Doisy فيزر Fieser) ، تركيب الكينين (وودورد Woodward ودورنغ Doering) ، و تركيب الكورتيزون (سارت Sarett) ، و تركيب الناركورتين ، والالكوليد من مجموعة الاندول والتروينونات (ر . روبنسون R. Robinson) ، و تركيب الباتولين ، والستريكين (وودورد Woodward) والكلوروفيل (وودورد وسترل Strell) وحامض الفوليك (والر Waller) ، الخ .

وفي العديد من الحالات ، تبع تركيب مركب ما اكتشاف بنيته . وعموماً ، ان هذا التركيب اقتضى مراحل عدة وسيطة ، تقتضي جهداً كبيراً اولياً تنظيمياً قبل المباشرة بالعمل المخبري فعلاً . ولاجياز مرحلة من هذه المراحل ، تستطيع الكيمياء التركيبية ان تختار بين العديد من انماط التفاعلات المعروفة ، ويمكنها ايضاً ان تركز على مفاهيم نظرية اصيلة ، أو على منشطات جديدة ، وعلى اجهزة مبتكرة أو على مساعدات تحليلية ، مثل المطيافية تحت الحمراء . ومن التقنيات الحديثة الأكثر خصباً استعمال الاجسام الميكروسكوبية لتحقيق بعض المراحل التركيبية ، وهي طرق ثمينة للغاية في بعض الحالات حيث لا تستطيع الاساليب الكيميائية العادية أن تؤدي الا الى مزائج راسيمية (Racémique - نوع من انواع الحامض تارترك) .

3- التطورات النظرية

الارتباط الالكتروني - ان مفاهيم لويس Lewis ولاغموير Langmuir وكوسل Kossel فيما يتعلق بارتباط الذرات بمزدوجات الكترونية قد لعبت ، سريعاً ، دوراً مهماً في الكيمياء العضوية . وقبل هذا ، عرف الارتباط بين الذرات بوضوح ، ولكن طبيعته بقيت غير موثوقة . وبواسطة المزدوجات الالكترونية ، امكن النظر في الارتباط ، من وجهة نظر فيزيائية ، وبذات الوقت امكن الحصول على فهم افضل للقوى المتعلقة بالارتباط ، ويسلووها . وشارك سيدويك Sidgwick مشاركة مهمة في هذا الدخول للمفاهيم الالكترونية في الكيمياء العضوية .

ان الفروقات في النشاطية وفي مفاهيم المذيبات ، والمساعدات والمنشطات قد دلت بان المزدوج الالكتروني كان في أصل العديد من القوى الداخلية في الجزيئات وفيما بينها . ولفت ج . لويس الانتباه الى مختلف المركبات ، مثل الكحول الميثيل ، وكلورور الميثيل والميثيلامين ، حيث يخلق الجذب الذي تمارسه المزدوجة الالكترونية على الكربون وعنصر آخر ، عزماً ثنائي القطب dipolaire قابلاً للقياس .

ان الدور الذي لعبته الالكترونات في التفاعلات العضوية قد درس من قبل ر . روبنسون وش . ك . أنغولد C. K. Ingold من اجل توضيح الدور الذي تلعبه مراكز الكثافة الالكترونية القوية والضعيفة داخل المنشطات العضوية . ان هذه الدراسات ادت الى ادخال مفاهيم مثل مفهوم « الآثار الحاتة » (حيث تأثير الذرة القريبة يؤدي الى سحب أو الى تحول الالكترونات) ومفهوم الآثار الميزوميرية (*Mésomères*) حيث يفترن ثبات نظام ما بتطاير الالكترونات) . ان نظرية الحوامض والقواعد (Bases) التي قال بها لويس قد لعبت أيضاً دوراً مهماً في الكيمياء العضوية .

وقد اتاحت تفسير الآثار المساعدة في المركبات مثل : $AlCl_3$, $ZnCl_2$, $FeCl_3$, BF_3 باعتبار ان كلا من هذه المركبات كحامض لويس ، اي كقابل للمزدوجات الالكترونية ، الناتية من قاعدة من قواعد لويس : $(CH_3)_3N + BF_3 \rightarrow (CH_3)_3N:BF_3$. وهناك العديد من الامثلة الاخرى الجمعية امكن أيضاً تفسيرها بفضل هذه النظرية .

واطلق أنغولد اسم نيكليوفيل على المنشطات التي تعطي الكترونات أو تنقسم هذه الالكترونات مع منشط آخر . والمنشط الذي يقبل مثل هذه الالكترونات يسمى الكتروفيل (أو محب للالكترونات) .

الجدور الحرة Radicaux Libres - تنج الجذور الحرة لتأخذ مكاناً مهماً في أليات التفاعلات العضوية ، في حين انه في أواخر القرن التاسع عشر ، كان الشائع ان مثل هذه الجذور ليس لها وجود .

في هذه الحقبة حاول م . غومبرغ M. Gomberg ان يحضر الهكزا - فليل - اتان بتأثير الفضة على الكلورور تري - فليل - مثيل . وقد اظهر المستحضر الحاصل نشاطية غير متوقعة تجاه الاوكسجين والهالوجينات ، وكشفت البحوث وجود تري - فليل - مثيل C_6H_5 كجلدر حر . وباستخدام مجموعات أخرى « اريل » *Aryle* ، نجح غومبرغ في وضع نموذج متماسك في تشكيل الجذور الحرة ، لأن مجموعات اريل مزعجة جداً فلا يمكن له « إيتان » مستبدل سداسياً أن يكون مستقرأ في حالة المحلول . واللون المضاف إلى محاليل أمثال هذه الجذور الحرة قد ارتبط أخيراً بوجود الكترون أعزب في الجذر .

ورغم أن جذوراً أخرى حرة قد حضرت بخلال السنوات التالية ، فلم يركز الانتباه في بادىء الأمر على تدخل مثل هذه الجذور المحتمل في التفاعلات العضوية . وفي سنة 1925 ، استعان ه . تايلور بالجذور الحرة ، خلال دراساته حول هدرجة الانيلين تحت تأثير الضوء فوق البنفسجي . وبين ف . بانث F. Paneth في المانيا وف . و . رايس F.O. Rice في الولايات المتحدة ، عن طريق تهجير المايا المعدنية ، ان جذوراً حرة ، ذات وجود عابر ، تشكل خلال تفاعلات الحل الحراري *Pyrolyse* ، وانها نستطيع بصورة عابرة ان تعطي مركبات متطايرة مع المعدن . ان حسابات الميكانيك الكمي اثبتت ان مثل هذه الجذور يمكن ان تكون مستقرة ، رغم ان طاقات ذات تنشيط بسيط تجعلها ناشطة للغاية . وطورم . كاراش M. Kharasch في الولايات

المتحدة استعمال اواليات بفضل جذور حرة في تفسير التفاعلات العضوية .

وقد لوحظ انه في العديد من الحالات تتدخل مثل هذه الجذور في اواليات التفاعلات التسلسلية . من ذلك مثلاً ان تفاعلات الهلجنة Halogénation المحثوة بالضوء تتسارع بشكل ضخم بعد تفاعل كيميائي ضوئي Photochimique اساسي حاملاً الهالوجين على الانفصال أو التفكك .

الكيمياء المجسمة Stéréo Chimie - ان نظرية ذرة الكربون التترايدريك التي وضعها فانث هوف ولويل Le Bel سنة 1874 ، قد لعبت دوراً مفيداً جداً في تفسير تشكل (ترسم) المركبات النشطة بصرياً . ان أعمال اميل فيشر E. Fischer حول بنية السكر البسيط تمثل تركيماً رائعاً من البحث التجريبي والتفكير النظري من أجل حل مشكلة بنوية معقدة . ورغم ان كل البحوث اللاحقة قد استفادت من هذه الأعمال ، فإن أياً من الدراسات حول الكيمياء التجسيمية في القرن العشرين لم يعادل عبقرية عمل فيشر في أواخر القرن التاسع عشر .

ان القرن العشرين قد شاهد اتساع لائحة المركبات النشطة بصرياً باضافة بعض الانماط التي امكن اخذ صور مرآوية لها ، رغم عدم وجود اية ذرة من الكربون اللاتساوي في الجزيء .

في سنة 1909 ، ذكر و . هـ . بيركين W. H. Perkin الصغير وو . ج . پوب W. J. Pop وو . ولأش O. Wallach مركباً كانت ذراته واقعة في سطحين عاموديين ، دون إمكانية الدوران . وقد تم اكتشاف العديد من حالات النشاط البصري الأخرى ، وفيها تثبت إمكانية الحصول على جسيمين متقابلين Antipodes من لا تناسق مقرون ، اما بنظام ثابت من الدورات (كما هو الحال في السيران Spiranes) واما في ترتيب ذي اتصالات مزدوجة (ألين allènes) . ويحدث التجاوز isomérisation البصري أيضاً عندما يمنع الدوران الخاص حول جامع يجمع بين نواتين عطريتين ، بفعل مجموعات ضخمة ذات وضع عامودي أو مستقيم (ortho) (اتروبو- تجاوز) وقد يرتبط التجاوز بنظام متعدد الدورية يمكن ان يعتمد بنية حلزونية .

وبذلت جهود ضخمة في مجال المساهمة البصرية في المراكز غير المتناظرة (asymétriques) الفردية . وبدت أعمال ك . س . هودسون K.S. Hudson في اميركا وأعمال ك . فرويدنبيرغ K. Freudenberg في ألمانيا مهمة بشكل خاص في هذا المجال .

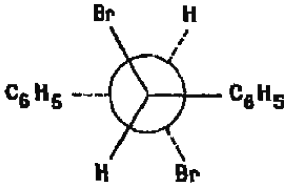
وارتكزت التشكلات Configurations المطلقة ولمدة طويلة على أسس عشوائية . ولكن في سنة 1951 نجح ج . م . بيجفوت J. M. Bijvoet وآ . ف . بيرديمان A. F. Peerdeman وآ . ج . فان بومل A. J. Van Bommel في التأكيد على صحة المنهج الاصطلاحي بفضل الاستعانة بالاشعة السينية في دراسة بلور تترترات الصوديوم والروبيديوم . وبالارتباط مع مركبات أخرى ناشطة ، أمكن تحديد التشكلات المطلقة للستيرويدات Stéroïdes والتربينويدات Terpénoïdes .

التحليلات التشكيلية (Conformationnelles) - ادخل هاورث Haworth مفهوم التوافق Conformation لكي يدل على الترتيب الفضائي للذرات المكونة في مواجهة ذرات الكربون

المتجاورة المضمومة بارتباط بسيط .

وبسبب الدوران الحر حول رباط بسيط ، فإن هناك عدداً غير محدود نظرياً من التوافقات يتطابق مع جزئي معين . والواقع ، وبسبب التغيرات في الطاقة ، التي تظهر فيما بين مختلف التوافقات ، فإن بعضاً منها تبدو أكثر احتمالاً . مثاله ، قد تبين ان التوافق المستقر في الميزو ديبروموستيلين Mésodibromostilbène هو التوافق الذي تكون فيه مجموعات الفيل بعيدة ما أمكن الواحدة عن الأخرى (صورة رقم 25) .

صورة 25 - صيغة الميزو - ديبروموستيلين. اسقاط الصيغة التي تبين في الطرف الرابط الذي يجمع بين ذرتي الكربون غير المتناظرتين . وتمثل الخطوط المائلة الارتباطات المتعلقة بالذرة الكربونية الأمامية ؛ أما الخطوط المنقطة فتمثل الارتباطات المتعلقة بالذرة الكربون الواقعة في الخلف .



وقامت دراسات عديدة توافقية تتناول الانظمة الدورية غير السطحية .

من ذلك مثلاً حالة السيكلوهكزان ، وفيه ثبت منذ 1890 إمكان وجود متجاذئين isomères ، عرفا باسمي « على كرسي » ، و « على مركب » . وكون هذين المتجاذئين مستعصين على الفصل ، يدل على عدم قابليتهما للتحويل ، ولكن جميع الدراسات بينت استقرارية الشكل « على كرسي » خاصة في الأنظمة المتعددة الدورات Polycycliques كما يظهر في السترويد .

ان التحليل التوافقي ، الذي طوره بشكل خاص د . هـ . بورتون D. H. R. Burton قد لعب دوراً مهماً في دراسة البنية ، وفي تفاعلات السترويد والتريترين Triterpènes ، والقلوانيات والغلوسيد . وإذا لم يستطع التحليل التوافقي منفرداً ان يثبت الكيمياء المجسمة Stéréochimie في الجزيئات المعقدة ، فإنه على الأقل وبالإرتباط بعلم التبلر الراديوي ، وبالمطيافية Spectroscopie الامتصاصية ، وبمجمال الاحداث الكيميائية ، قد شكّل اداة قوية في خدمة عالم الكيمياء العضوية .

4 - المتوجات الطبيعية

في مطلع القرن العشرين ، تمّ الحصول على عدد لا بأس به من الاعمال المخصصة لتركيب الشحومات ، والتريينات terpenes والقلويات ، والسكاكر ، والبورينات Purines والبيريميدينات Pyrimidines والبروتينات ؛ ومع ذلك فإن العديد من المسائل المتعلقة بهذه المركبات بقيت بدون حل . ثم ان أعمال البيوكيميائيين لفتت انتباه علماء الكيمياء العضوية إلى مركبات مثل السنيرويد والكاروتينويد ، والفيتامينات ، والحوامض التروية والهرمونات .
الغلوسيدات Les Glucides - في مطلع القرن العشرين ، ورغم الاعمال الممتازة التي قام بها . فيشر حول بنية الغلوكوز بقيت مسائل مزعجة تطرح نفسها . فقد ثبت وجود نوعين من المثيل

الغلوكوزي ، بفضل فيشر الذي زعم ان هذه الجزيئات تحتوي على حلقة تحتوي الاوكسجين ، انما دون ان يوسع هذا المفهوم ليشمل بذات الوقت الغلوكوز بالذات . وبخلال الثلاثين سنة التي تلت ، تم القيام ببرنامج واسع من البحوث حول بنية السكاكر ، وذلك في مختبر الاميركي ك . س . هودسون C. S. Hudson وفي المختبرات البريطانية العائدة لـ ث . بوردي Th. Purdie و . ن . هاورث W. N. Haworth ، و ج . ك . ايرفين J. C. Irvine وأ . ل . هرست E. L. Hirst .

ان دراسة بعض مشتقات السكر ، مثل استيريات المثل والباننا آسيتات ، والمستحضرات الاسيتونية التجميعية ، قد أتاحت تحديد موقع قفل الحلقة في المستحضرات الطبيعية . واستخدم هودسون الحامض الدوري ، بشكل مفيد جداً ، فقرر طبيعة المجموعات النهائية ، وطبيعة التفرعات ونظام التسلسل في متعددات السكر (Polysaccharides) .

الشحومات والشمعيات - خلال قسم كبير من القرن العشرين ، بقيت الطرق التقليدية في دراسات الشحوم والشمعيات سائدة ، ثم ان كيمياء هذه المنتجات الطبيعية لم تتقدم الا ببطء شديد ، بسبب صعوبة فصل المركبات الاليفاتية المتقاربة جداً . ان فصل هذه الاستيريات المثيلة قد تحقق بشكل عادي بفضل تحسين اعمدة التقطير . ووضع ج . ب . براون تقنية فعالة لفصل الحوامض غير المشبعة بالتكثيف تحت درجة حرارة منخفضة . وفي نفس الوقت قدمت بحوث مهمة حول المراحل Phases ، اجريت في مختبر هـ . آ . شويت H. A. Schuette (جامعة ويسكونسن) ، معلومات مفيدة في مجال التحليل . وبواسطة الأشعة السينية درس آ . ك . شيبنال A. C. Chibnall تركيب العديد من انواع الزيوت الحيوانية والنباتية . وقدم حديثاً ادخال التصوير التلوني في البخار اداة جديدة وقوية لتحليل المزائج من الحوامض الشحمية .

المركبات الأزوتية - وبسبب الاهمية البيولوجية البالغة ، التي ترتديها البروتينات ، فقد استكشفت كيميائياً بقوة . في مطلع القرن ، كانت اكثرية الحوامض الامينية الطبيعية معروفة . الا ان بعضاً منها قد اكتشف في القرن العشرين ومنها : التريبتوفان Tryptophane (من قبل ف . ج . هوبكنز 1901, F. G. Hopkins) ومنها البرولين Proline ، والهيدروكسيبرولين والفالين (من قبل إ . فيشر 1901, E. Fischer) والتيروكسين (أ . ك . كندال 1915, Kendall) ثم الميثيونين (مولر Mueller ، 1922) والتريونين (و . ك . روز 1935, E. C. Rose) . وفي سنة 1924 نشرت . ب . اوسبورن Th. B. Osborne ، أولى الجداول حول تركيب البروتينات ، من الحوامض الامينية .

واهتم فيشر كثيراً بالبروتينات وبالحوامض الامينية بخلال السنوات الاولى من القرن العشرين . وتعرف على وجود تسلسل هضموي ببتيدي Peptidique بين الحوامض الامينية وفي البروتينات ونجح في تركيب ببتيد متعدد الجوانب يحتوي على ثماني عشرة وحدة من الحوامض الامينية .

وتحتوي الحوامض الامينية المستخرجة من البروتينات مجموعة كاملة امينية حول الكربون α . ان وجود مثل هذا المركز اللاتناظري ادى إلى قيام مشاكل تشكيلية . وبين ك . فرويدنبيرغ K. Freudenberg ان الانالين الطبيعي مرتبط بالحامض $I(+)$ - اللاكتيكي ؛ ثم تقرر فيما بعد ان كل

الحوامض الطبيعية تمتلك التشكل L .

وتحديد تركيب الهيدروليسات من الحوامض الامينية ، بدا صعباً جداً إلى أن تم ادخال التصوير التلويثي على الورق سنة 1943 (راجع الفقرة IV) . في سنة 1940 ، ادخل د. ريتنبرغ D. Rittenberg التذويب (التمديد) النظيري Dilution isotopique ، كاسلوب كمي في تحديد الحوامض الامينية .

ودل تطور تحليل المجموعات النهائية terminaoux على مرحلة أساسية في دراسة سلسلة الحوامض الامينية في جزيئات البوليتيد والبروتينات .

وفي سنة 1945 ، استعمل ف . سانجر F. Sanger في كمبيريدج 2,4 - دينيترو - فليورو - بانزين لكي يدل على المجموعات الامينية النهائية في الجزيء . وبعد التحليل الكهربائي ، تم التعرف على المشتق الملون في الحامض الأميني بواسطة التصوير التلويثي في جزيء الانسولين .

الستيرويدات Steroïdes - بالرغم من أن مركبات مثل الكولسترول والحوامض الصفراوية قد كانت في السابق موضوع العديد من الدراسات ، فانه في حوالي سنة 1920 فقط اتاح التقدم المحقق في الكيمياء العضوية بحق ، معالجة مشكلة بنيتها .

وقبل سنة 1930 ، اقترح آ . وندوس A. Windaus من غوتنجن وه . و . ويلند H. O. Wieland من ميونيخ ، وهما يدرسان بذات الوقت الكولسترول وحامض المرارة ، اعتبارهما كائظمة تراسيكلية Tétracyclique ، وخطرت لهما فكرة صحيحة نوعاً ما حول التجمعات المرتبطة بهذه النواة . الا ان الدراسات اللاحقة بينت ان هذه الرسيمة البنيوية كانت خاطئة . ان نزح الهيدروجين من المركبات الحاصلة بفضل السيلينيوم ادى الى تشكل كميات صغيرة من « هيندروكاربور ديلز Diels » . وبعد توضيح طبيعة هذا المركب ، أمكن منها استخراج البنية الصحيحة للكولسترول ولحامض المرارة .

وقد بدا ان النواة الستيرويدية شائعة جداً في الطبيعة . وهي تدخل في مختلف الستيرولات والحوامض الصفراوية ، وكذلك في الهرمونات الجنسية ، والهرمونات القشرية الكظرية Corticales في الغدد فوق الكلية ، وفي الفلوكوسيدات المنشطة للقلب ، وفي الديدجيتالين ، والسابوجينينات ، وبعض سموم الضفادع Crapauds (ه . ويلاند Wieland . ول . روزيكا Ruzika . و . نيومان W. Newmann) .

5 - نهضة الأدوية العضوية

في مطلع القرن العشرين ، كان هدف صناعة الكيمياء العضوية الاساسي تركيب الملونات ، المحصول على معظمها انطلاقاً من مركبات مستخرجة من الزيت القاري . وقد توصل الكيميائيون الالمان إلى تحقيق تركيب النيلة (الانديغو) على المستوى الصناعي . وحاولوا ، وهم في أوج قوتهم ، ان يغيروا بعض الجزيئات لكي يستخرجوا منها مستحضرات مثمرة تجارياً . ويحط عن

تطبيقات جديدة للمستحضرات الوسيطة غير المستعملة ، استكشفوا بقوة كل المجالات ، وخاصة مجالات المتوجات الغذائية والصيدلانية .

وهكذا تم ادخال متوجات كيميائية في الصناعة الغذائية ، وخاصة كملونات ، وكمعطرات ومطهرات ، دون اعطاء الانتباه الكافي لمصلحة المستهلكين وبصورة خاصة دون الالتفات إلى حفظ صحتهم . وكان لا بد من صدور تشريع يراقب استعمال مثل هذه المستحضرات ، في العديد من البلدان ، وذلك من أجل استخدام المواد المضرّة . والواقع ان استصدار مثل هذا التشريع كان يقتضي في الغالب بحثاً طويلاً ، وحديثاً أيضاً ، لوحظت أذية وضرب بعض المواد الملونة غذائياً ، وضرب مبيدات الجراثيم ، والمستحضرات العطرية ، التي دخلت منذ زمن بعيد في الاستعمال . ولهذا تخضع المواد الجديدة الغذائية المقترحة اليوم لتجارب كيميائية وبيولوجية قاسية ، قبل الترخيص باستعمالها .

واستكشف المجال الصيدلاني بانتباه بالغ من قبل كيميائي الصناعة من أجل البحث عن مصاريف جديدة لمستحضراتهم ، وتطور هذا الجهد عندما تمت معرفة المنشأ الميكروبي للعديد من الأمراض . الا ان الآمال كانت بطيئة التحقيق عملياً ، لأن المواد السامة بالنسبة إلى الميكروبات ، هي أيضاً سامة عموماً ، بالنسبة إلى أشكال الحياة العليا . والنجاحات الأولى البارزة في تركيب الأدوية ، تناولت مركبات تعالج الظواهر دون القضاء على الأسباب العميقة للأمراض : فالاسبيرين الذي أدخل سنة 1899 من قبل المصنع الألماني باير ، هو أول دواء مهم تم اكتشافه بثناء هذه البحوث .

مشتقات الزرنيخ - هناك نجاح جديد كبير تم في مجال الكيمياء الاستطبابية ، على أثر اعمال پول اهرليك Paul Ehrlich (1854-1915) . ان دراسات اهرليك حول الملونات ذات المفعول البيولوجي الانتقائي حملته على وضع مركبات عضوية زرنيفية بدت فعالة ضد بعض الميكروبات السولدة للأمراض Pathogène : السالفارسان أو المركب 606 ضد السفلس (1909) والنيسالفارسان (1912) .

رغم ان بحوث اهرليك قد حفزت بقوة البحث عن عوامل أخرى كيميائية استطبابية ، الا ان النتائج قليلا ما كانت مشجعة .

قبل سنة 1930 ، قليلة هي الاكتشافات التي تستحق الذكر : منها المستحضر باير Bayer 205 الذي أدخل سنة 1920 لمعالجة مرض النوم ، والثيارساميد ، الذي صنعته مؤسسة روكفلر سنة 1926 والمزود ببعض الأثر الشافي لمرض النوم ، ثم الكارباسون ، وهو منتج قريب كيميائياً من الأول والفعال ضد الزحار (الزنطارية) الاميبي ، الخ .

السولفاميد - سنة 1930 استحصلت مؤسسة ي . ج . فاربن I. G. Farben على رخصة بإنتاج الهرونتوسيل ، وهو مستحضر صنعه ج . دوماغ G. Domag ، بقصد معالجة الاصابات بالسريبوتوكوكسيك والساتفيلوكوكسيك . وادخل هذا الملون الأحمر سنة 1935 في الاستعمال العميادي . وبعد ذلك بقليل ، بين فريق مؤسسة باستور أنّ نشاط جزيئه مقصور على القسم

السولفاميدي منه . وعندها تم استعمال هذا المستحضر كدواء . وبين الكيمائيون في ماي اند باكر May and Backer في انكلترا ، عاجلاً ، ان استبدال أحد الهيدروجينات من مجموعة SO_2 - (NH_2) بمجموع عضوي غير وفي أغلب الاحيان ينشط مفعوله ضد الميكروبات العضوية . وتم الحصول على بدائل ، من مجموعات مختلفة مثل : البيريدين ، والتيازول ، الخ . ، ظهرت بسرعة في السوق . وانتصر التركيب وحقق أولى نجاحاته في مجال الكيمياء الاستطابية .

ورغم استبدالها سريعاً بالمضادات الحيوية ، كانت السولفاميد في أساس مجال جديد في البحث الطبي عندما اثبت P. Fildes ود . د . وودز D. D. Woods في كمبريدج ان مجموعة السولفاميد تعمل كمضادات تضر بالايض . وهذه المجموعة مرتبطة تماماً بفيتامين هو حامض p -امينوبنزيك ، الذي يعتبر أساسياً في تركيب حامض الفوليك [فيتامين ب 9] بفعل بعض البكتيريا . ان ايض هذه البكتيريا يختل بعمق عند حضور هذه المجموعة حتى ان البكتيريا المذكورة لا تستطيع تمييزه بوضوح من حامض p -امينوبنزيك .

مضادات الملاريا - ان الكينين ، منذ اكتشافه ، سنة 1817 ، من قبل بلتييه Pelletier وكانت Caventou لم يستلج ابتناء الكيمائيين . الا انه بعد نهاية القرن التاسع عشر ، حصل تقدم كبير في تحديد هوية متوجاته التقهقرية . وبذات الوقت ، تم اعادة تكوين بنيتة بصورة تدريجية . وفي سنة 1931 ، تم تركيبه جزئياً من قبل P. Rabe . وجمع وودورد Woodward ودورنغ Doering في تركيبه كاملاً سنة 1944 ، انما بطريق معقد جداً ، فلم يصنع تجارياً .

وقامت بحوث مماثلة للعثور على بدائل للكينين . فكان البلاسموكين ، مشتق بعيد من الكينوليين ؛ وأدخل سنة 1926 من قبل ي . ج . فارين I. G. Farben ، ولكن شدة سموميته حدث من استعماله طبياً . وبدا الأتيرين أو الكيناكرين ، وهو ملون اكريدي (acridique) ، الذي أدخل سنة 1932 ، أكثر فائدة . وبخلال الحرب العالمية الثانية ، قامت الولايات المتحدة بدراسة منهجية حول المستحضرات ذات الاثر المضاد للملاريا ، ولكن أياً من المستحضرات الاربعة عشر ألفاً التي أعدت وجربت لم تفوق على الكينين والأتيرين .

المضادات الحيوية - ان المفعول المضاد حيوياً للعطن ، بنسيليوم نوتاتوم ، قد لوحظ منذ سنة 1928 من قبل الكسندر فلمنج الذي حاول ان يركز وان يعزل مادة البنسلين ، التي رآها هي الاساس في هذا الأثر . ولم تنجح جهوده مباشرة ؛ ولكن في سنة 1939 ، تمت العودة إلى هذا العمل في أكسفورد من قبل فريق من الكيمائيين بقيادة هـ . و . فلوري H. W. Florey و . ب . شين E. B. Chain . وأدت هذه البحوث سنة 1942 إلى عزل مكثف ظهر فعلاً بشكل ملحوظ في التجارب اليبادية . وعندها بذلت جهود في الولايات المتحدة ، من أجل انتاجه صناعياً .

في انكلترا وفي الولايات المتحدة ، تابع العديد من المختبرات ، وبنشاط الدراسة الكيميائية للبنسلين . وسرعان ما لوحظ وجود عدة أشكال من البنسلين ، لها نفس النواة ، انما تختلف في طبيعة السلسلة الجانبية . ولعبت الدراسات التصويرية البلورية التي قام بها د . ك . هودكن D. C. Hodgkin في انكلترا دوراً مهماً في توضيح بنية البنسلين (1949) . وتعميدات جزئيه لم تكن تتيح

تقدماً سريعاً في تركيبه . وفي سنة 1957 فقط توصل ج . ك . شيهان J. C. Sheehan و ك . ر هنري - لوغان K. R. Henery-Logan في المآساتشوسس انستيتوت أوف تكنولوجيا ، إلى تركيب البنسلين خمسة بشكل كامل . ويفضل دراسات منهجية أجريت بوسائل قوية تم بسرعة اكتشاف مضادات حيوية أخرى ، وتحقق إنجازها بشكل تجاري . وقد طرح كل من هذه المركبات على الكيميائيين مسائل جديدة وصعبة : تنقية بنيتها ، محاولة تركيبها ، ثم ، بعد دراسة مفعولها الصيدلاني ، إنتاج محتمل ، بعد تغيير في الجزيء ، لاشكال تركيبية أكثر فعالية أو أسهل استعمالاً . وبخلال عدة سنوات تم اكتشاف الستربتوميسين ، والاوريوميسين ، والكولوروميسيتين ، والتتراسيكلين ، والتراميسين ، الخ . ووضعت في السوق التجارية ، وأدت البنية البسيطة نسبياً في الكلوروميسيتين إلى تصنيعه أو تركيبه صناعياً .

الأدوية الهرمونية - على أثر الدراسات التي أجريت حول الهرمونات الجنسية ، من قبل دوازي Doisy ، وبوتينان Butenandt وغيرهما ، حوالي سنة 1930 ، استعملت هذه المواد لمعالجة الاضطرابات المتعلقة بعدم الانتظام الهرموني (انظر دراسة و . دوبري R. Debré وج ديوكوا G. Desbuquois الفقرة V من الفصل III من القسم الخامس) . ان استخراج هذه المركبات الناشطة ، انطلاقاً من البول أو من الغدد الحيوانية ، كان صعباً ، فلذلك انصب الاهتمام على تركيبها أو على تحويلها إلى أشكال أكثر فعالية . وتم ، في بادئ الأمر ، استخراج الاوستراديول ، بتحويل الاوسترون المستخرج من البول ، وبعدها تم تركيبه صناعياً انطلاقاً من الكولسترول ، وفقاً لاسلوب وضعه انهوفن Inhoffen في سنة 1948 .

لاحظ انهوفن ان النشاط البيولوجي يبقى عندما تفتح الحلقتان الوسط في النواة الاستيرولية (Stérolique) فتم انتاج الهرمونات الجنسية بشكل تركيبى خالص مثل الذي - اتيل ستيلوبسترول . وصنع هذا المركب بدا سهلاً مكن من استعماله بكثرة من أجل تسريع زيادة وزن الحيوانات للذبح ؛ الا ان هذا الاستعمال قد نظم بشدة في مختلف البلدان .

وتم أيضاً الانتاج الصناعي للعديد من الهرمونات من أجل الاستخدامات الطبية : مثل الكورتيزون والمركب المسمى « أكت » A.C.T.H وغيرهما (وهناك دراسة اكمل للهرمونات قام بها ر . دوبري وج ديوكوا في الفقرة IV من الفصل II من القسم الخامس) .

6- صناعة الكيمياء العضوية

في حين اقتصر الكيمياء الصناعية العضوية ، عملياً ، في مطلع القرن العشرين على انتاج الملونات والأدوية ، الا انها في السنوات التالية توسعت حتى برزت في عدة مجالات . ففي حين ان معظم المستحضرات العضوية الصناعية كان حتى ذلك الحين يستخلص من مشتقات القار ، فقد تم استثمار مصادر جديدة تدريجياً . ففي حوالي منتصف القرن ، أخذ يتسع استخراج المستحضرات التركيبية انطلاقاً من الغاز الطبيعي ومن البترول . فضلاً عن ذلك ، أتاحت عمليات التخثير ، ليس الحصول فقط على الكحول الايثيلية ، بل وعلى الاسيتون ، والبوليتانول والحامض الستريك ، وعلى العديد من المستحضرات الأخرى ، وفي ألمانيا بفضل اسلوب برجيسوس

Bergius وفيشر - نروبش Fisher-Tropsch ، تم انتاج كميات كبيرة من الهيدروكربونات والمستحضرات المشتقة انطلاقاً من الفحم . وأولى هذه الوسائل ارتكزت على الهدرجة المساعدة للنيغيت ؛ والوسيلة الثانية تركزت على التحول المساعد إلى كحول ، وحوامض ، وهيدروكربون انطلاقاً من أكسيد الكربون والهيدروجين الحاصلين من أثر بخار الماء على فحم الكوك بدرجة حرارة عالية . وبخلال الحرب العالمية الثانية ، استعملت هذه الوسائل في ألمانيا على نطاق واسع جداً ، لتكوين « البنزين » (essence) والشحومات الغذائية .

مستحضرات التكتيف - لقد أصبح السلُولُوز ، إضافة إلى استخدامه في صناعة الورق ، المادة الأولى الأساس لانتاج مختلف انماط اللدائن (الرايون) (rayonne) والافلام السلُولُوزية . ونجح الكيميائيون في تحقيق تركيبات أكثر كمالاً من الخيوط النسيجية .

فحصلوا على النيلون وذلك بدمج الهكساميثيلين - ديامين ، بالحامض الأدييك ، وحصلوا على الاورلون بتكتيف Polymérisation الاكريلونيتريل ، وعلى الدكرون (تيريلين) بدمج حامض تيريفثاليك مع الاثيلين غليكول .

وتحقق انتاج الكاوتشوك التركيبي بعد دراسة تكتيف الجزيئات مثل البوتادين . وكذلك تم اكتشاف العديد من المواد البلاستيكية تبعاً ، انما بشكل عشوائي جداً في بادئ الأمر .

ان السلُولُويد المستحضر بدمج النيتروسلولوز والكافور Camphre ، قد وضع في السوق منذ سنة 1872 بفضل ج . و . هايت J. W. Hyatt . وتم تحضير لدائن كازينية سنة 1897 بعد تكتيف الكازين مع الفورمالديهييد . وفي سنة 1910 ، تم اكتشاف نعط من اللدائن أكثر أهمية هو الباكليت بفضل ل . هـ . باكيلاند L. H. Baekeland ، عن طريق تكتيف الفينول والفورمالديهييد . وبدأت فيما بعد بدراسة معمقة لطبيعة الجزيئات الكبيرة . وكانت هذه البحوث في أساس التشكيلة الكبيرة من اللدائن ، ومن الأنسجة والمواد المطاطة المتوفرة في وقتنا الحاضر .

المستحضرات الكيميائية الزراعية - لقد أحدثت البحوث حول الكيمياء العضوية انقلابات حقيقية في التقنيات الزراعية ، وذلك على أثر استخدام مستحضرات كيميائية في مكافحة الحشرات وغيرها من الآفات .

حتى سنة 1940 ، وفي مجال مكافحة الحشرات كان الاستعمال منصباً على السموم المعدنية ، مثل الزرنيخات والفلورات ، وعلى بعض المواد العضوية الطبيعية مثل البيرثر ، والروتينون والنيكوتين . ولاحظ P. Müller من مؤسسة جيغي Geigy في بال ، يومئذ ، الآثار السامة لـ ديكلوروديفينيل - تريكلوريتان (D.D.T.) على الحشرات . واستعمل هذا المركب بشكل واسع ضد الذباب والبعوض والعث من قبل القوات العسكرية الحليفة . ثم ادخل فيما بعد في الاستخدام المدني . وحفز نجاحه البحوث المنهجية من اجل مبيدات جديدة للحشرات . وبخلال السنوات التالية ، تم انتاج العديد من مشتقات الكلور الهيدروكربوني ، وكذلك من مشتقات الفوسفات العضوية الشديدة السمية .

ان ادخال هذه المركبات فرض عبئاً ثقيلاً على أجهزة المراقبة . فقد توجب على هذه أن

تدرس بانتباه أساليب اكتشاف البقايا التي تتركها هذه المستحضرات والتي يمكن أن تلوث الأطعمة ، وكان لا بد من متابعة البحوث الصيدلانية من أجل وضع قواعد استعمال حذرة .

ودلت البحوث حول الهرمونات النباتية ان مواداً مثل حامض الاندول بتا^٥ - اسيتيك تنظم نمو بعض النباتات (راجع بهذا الشأن دراسة ج . ف . لروا J.F. Leroy I الفقرة من الفصل VII من القسم الرابع) .

فقد لوحظ ان مركبات تركيبية خالصة مثل الحامض 2,4 ديكلورو فينوكزي اسيتيك (D-2,4) له نفس المفاعيل المشابهة ، ويمكن أن يستخدم في إبادة بعض النباتات الكثيرة الاوراق بتنشيط نموها بسرعة كبيرة . وأدّى هذا الاكتشاف إلى وضع العديد من المركبات المستخدمة كمييدات للاعشاب . ان دراسة فيزيولوجية النباتات والكيمياء العضوية قد أتاحت أيضاً الحصول على مستحضرات تستخدم كمعوقات للنمو ، وكمسقطات للاوراق أو كمنضجات .

VII - البيوكيمياء

1 - حالة المعارف في سنة 1900

في مطلع القرن العشرين ، كانت الكيمياء الاحيائية (البيوكيمياء) ما تزال أساساً علماً وصفيّاً . وكان الاهتمام منصباً بشكل رئيسي على تركيب الأطعمة وغيرها من المستحضرات البيولوجية الأخرى . وكانت الدراسات حول الايض الطاقي متقدمة نوعاً ما ، على أثر الاعمال حول قياس الحرارة Calorimétrie الحيوانية التي حققت في أواخر القرن التاسع عشر ، ولكن معرفة دور العديد من مكونات الأطعمة بقيت بدائية أولية .

وبخلال الثلث الأول من القرن العشرين ، اتجه النشاط أساساً نحو مجال الهضم ، حيث لعبت متابعة الدراسات حول الفيتامينات والبحوث حول دور العناصر المعدنية دوراً مهماً في الصراع ضد أمراض العوز .

وفي حوالي منتصف القرن ، ارتدت الكيمياء الاحيائية منحى أكثر حيوية ، فوجهت الاهتمام أساساً نحو دراسة التفاعلات الايضية داخل الخلايا الحية . ان دور الانزيمات اكتسب من جراء هذا أهمية خاصة ، ووضعت تقنيات لمتابعة المراحل المتتالية في تحويل المكونات الغذائية إلى مستحضرات تأكسد بيولوجي .

2 - المعارف الجديدة حول التغذية

التعرف على أمراض العوز - في سنة 1900 عرف علم البكتيريا شهرة كبيرة ، واعتبرت البكتيريا عموماً أهم مسببات الأمراض . ومع ذلك فقد كان من المؤكد ان بعض الاضطرابات هي ذات منشأ غير بكتيري ، مرتبط بشكل خاص بنظام الغذاء أو بالوسط .

في كتاب نشر سنة 1753 ، بين جراح في البحرية البريطانية قيمة عصير البرتقال والحامض في مقاومة فقر الدم (داء الحفر) . وأثبت طبيب في البحرية اليابانية هوك . تاكاكي K. Takaki ،

حوالي سنة 1880 ، ان كثرة مرض البري بري [هو نقص الفيتامين ب] المحلول لدى البحارة قد يتقلص باستبدال الرز المقشور ، الذي هو أساس النظام الغذائي عندهم ، باللحم والخضار ، وأجرى ش . ايجكمان Ch. Eijkman ، مدير مختبر التشريح الفيزيولوجي والبيئي في باتافيا ، سنة 1896 ، بحثاً مهمة حول هذا الموضوع . وكان من المعروف أيضاً ان مرض الكساح قد يشفى بتناول زيت كبد سمك المورة وبالتعرض للشمس . ورغم هذه الحقائق ، فان غالية الجسم الطبي ، لم تقدر أهمية هذه العوامل الغذائية حق التقدير ، وعزت هذه الأمراض إلى أسباب بكتيرية أو غيرها .

وهناك براهين أخرى حول القصور الغذائي أخذت تتراكم على أثر تجارب أجريت على أنظمة غذائية مكونة من أطعمة مطهرة جداً وعلى حيوانات أخضعت لأنظمة غذائية متوازنة بالمواد الطبيعية .

وعلى هذا فقد لوحظ ان بعض القواضم كانت تعاني من الأغذية المركبة ، ولكن إضافة القليل من الحليب يعيد النمو الطبيعي والصحة والعافية . وذكر ف . ج . هوبكنز F.G. Hopkins سنة 1906 ان أنظمة غذائية قائمة على البروتينات المتقاة ، وعلى الشحوم ، وهيدرات الكربون وعلى أشباه المعادن كانت غير كافية بشكل ظاهر ، وان مواد أخرى كثيرة موجودة في الأغذية الطبيعية ضرورية للغذاء الجيد .

وفي سنة 1911 اثبت أ . ب . هارت E. B. Hart وي . ف . مكولم E. V. McCollum وه . ستينوك H. Steenbock وج . ش . همفري G. C. Humphery ان أنظمة غذائية مكونة من كميات متوازنة ومكتفية بالبروتينات ، والغلوسيدات ومن الزيوت المستخرجة من القمح أو من الشوفان لا تكفي لتأمين التغذية الطبيعية للابقار ؛ وان إضافة الذرة تكفي لإعادة التوازن بتوفير العوامل المكملة .

في سنة 1912 ، قدم الكيميائي الحيوي كازيمير فونك Casimir Funk الذي كان يشتغل في معهد ليستر Lister اسم فيتامين [منشط] لهذه العناصر الغذائية الإضافية . وبعد أن عزل من قشرة الرز بعض المواد الأزوتية اعتقد ان المواد الواقية ضد مرض بري بري هي « امينات حيوية » وهواسم اختصر فاصبح فيتامين ، عندما تبين ان بعض هذه العناصر ليس امينات .

الفيتامين A والجزريات Caroténoides - أتاحت تجارب متنوعة حول تغذية الحيوانات الصغيرة ، عموماً الجرذان البينوس ، إثبات وجود مواد مختلفة ، على الأقل ، بشكل ضئيل (آثار) في بعض الأغذية الضرورية للحصول على تغذية كافية . وبين مكولم سنة 1913 ان عامل نمو ذؤاب في الدسم (الفيتامين A) موجود في الزبدة ، وفي صفار البيض وفي كبد المورة ، وربط ستينوك فيما بعد نفس النشاط « بالحبوب الصفراء » وبالخضار . وافترض ان الجزرين (كاروتين) كان المادة النشطة في الفيتامين A ؛ ولكن صعوبات التحليل منعت ، لمدة طويلة ، من تأكيد ، أو من نفي هذه الفرضية . والبحوث التي جرت على الاصباغ النباتية الجزرية ، وبخاصة من قبل ر . كوهن R. Kuhn ، وويلستاتر R. Willstatter في ألمانيا ول . زيشمستر L. Zechmeister في

هناك ، دلت على وجود عدد من المركبات المتقاربة جداً . واتاح التصوير التلويحي ، فيما بعد ، فصل هذه الاجسام المختلفة . ولوحظ يومئذ ان بعضاً من الجزريات لها خصائص الفيتامين A ، ولكن الاخرى كانت غير فعالة .

ان معادلة الكاروتين $C_{40}H_{56}$ أوحث بدرجة عالية من عدم الاشباع . وقد تأكدت هذه الفرضية سنة 1928 من قبل زيشمستر الذي وجد ان عشرة جزئيات من الهيدروجين تمتصها الهدرجة . وهكذا بان ان الجزئي يمتلك أحد عشر اتصالاً اتيلينياً ودورتين هكزينييتين *hénéniques* ، وتزاوج الاتصال المزدوج هو في أساس اللون الأصفر ، وبخلال السنوات التالية نجح زيشمستر في تفسير التجاذبية « وراء - عبر » (Cis-trans) في الكاروتينات (الجزريات) الطبيعية . وأثبت ب . كارير P. Karrer من زوريخ الصيغة العامة في بيتا - كاروتين (β -carotène) بعد ان اكتشف وجود الدورة (بيتا - ايونون) (β -ionone) في المستحضرات المتأكسدة . وبين أيضاً تحول الكاروتين ألفا α والكاروتين غاما γ ونية الاصباغ النباتية المتشابهة جداً ، أو المسماة كزانتوفيل .

وبعد ما تبين ان الفيتامين A ينتج من اجتماع نصف جزئي من بيتا كاروتين مع مجموعة كحولية تقع في آخر السلسلة الطويلة الجانبية (ان دراسة الفيتامينات الاخرى قام بها ر . دوبري وج . ديوكوا الفقرة III من الفصل II من القسم الخامس) .

أشياء معادن أساسية - ان دور العناصر شبه المعدنية في التغذية قد توضح تدريجياً بعد دراسات متعاقبة آتية من اتجاهات متنوعة .

ان الحاجة إلى بعض العناصر ، مثل الحديد ، والكالسيوم ، والفوسفور واليود والصوديوم ، كانت سهلة التقرير ، رغم ان علاقاتها المتبادلة لم تتوضح بسهولة . والحاجة إلى عناصر أخرى ، مثل الزنك ، والمغنيزيوم والنحاس ، والمنغنيز ، والكوبالت والفليور ، كانت صعبة الاثبات ، جزئياً بسبب صعوبة اعداد أنظمة مفتقرة إلى هذه العناصر . وطُرحت مسائل أخرى في الفيزيولوجيا النباتية (راجع بهذا الموضوع دراسة ج . ف . لوروا ، الفقرة IV من الفصل VII من القسم الرابع) .

البروتينات والحوامض الامينية الأساسية - منذ القرن التاسع عشر ، لوحظ ان مواداً زلالية هي البروتينات كانت ضرورية للغذاء الجيد ، عند الكلاب ، ولكن نظاماً يستمد بروتيناته من الجيلاتين أو من الحبوب يبقى ناقصاً . وجرت محاولات عدة وتحليلات للبروتينات فأثارت اثبات ان هذه المواد تختلف كثيراً بحسب الحوامض الامينية الموجودة فيها . وفي حوالي سنة 1905 ، لوحظ ان الجيلاتين لا يتضمن لا تيروزين ، ولا سيستين ولا تريبتوفان . الا ان هذه الحوامض إذا أضيفت إلى أنظمة حيوانية لا تتضمن الا الجيلاتين كعنصر آخر من البروتينات ، فان هذه تبقى أيضاً ناقصة . وكان لـ ت . ب . اوسبورن Osborne من يال الفضل الكبير في توضيح تركيب البروتينات النباتية بالحوامض الامينية . والتجارب التي اجراها ل . ب . مندل Mendel حول تغذية الجرذان ، بدت مفيدة بشكل خاص عند القيام بالدراسات الاولى حول الفيتامينات . فقد بينت هذه التجارب أيضاً الاهمية الاساسية لبعض الحوامض الامينية في التغذية الحيوانية . وحوالي

سنة 1930 ، وشع و . ش روز W. C. Rose ، من جامعة إلينويس ، هذه الأعمال ، وبين الحاجة ، في نظام تغذية الجرذان ، إلى ادخال عشرة حوامض امينية مختلفة هي : اليزين ، والتريتوفان ، والهستيدين والفيلامين ، واللوسين ، والايزولوسين ، والتريونين ، والستيونين ، والفالين والارجينين . وأتاحت بحوث روز Rose اللاحقة اثبات ان الانسان يحتاج إلى نفس الحوامض الامينية ، ما عدا الارجينين والهستيدين .

3- دراسات حول الايض الوسيط

بخلال القرن العشرين ، تم تحقيق تقدم مهم أيضاً في دراسة التحولات التي تطرأ على الاطعمة ، بعد دخولها إلى الجسم . في مطلع القرن كانت الطبيعة الاجمالية للعملية الهضمية معروفة كفاية ، ولكن المعلومات كانت قليلة حول الايض الخلوي Cellulaire . وحتى سنة 1935 ، لم يتقدم فهم هذه العملية الا ببطء شديد ، ولكن بعد ذلك ، تم اكتشاف العديد من الوقائع ، التي تناولت طبيعة ووظيفة الانزيمات ، وتناولت بعض المركبات الهاربة التي تظهر بخلال ايض الغلوكوسيد في الخلايا الحية . وربط هذه المعارف المختلفة الجديدة قام به باحثون أمثال ش . وج . كوري C. et G. Cori ، وهانس كريس Hans Krebs الذين بينوا ان تقديم الطاقة يحصل بخلال سلسلة معقدة من المراحل ، محكومة بالانزيمات (راجع بهذا الشأن ر . كيهل R. Kehl ، الفقرة I ، الفصل I من القسم الرابع ، وج . ف . لوروا J. F. Leroy ، الفقرة II ، الفصل VII من القسم الرابع) .

ايض الشحوم - رغم ان مصير الشحوم بخلال عملية الايض الخلوي كان موضوع دراسات مهمة ، فقد بقيت مسائل عديدة بهذا الشأن غامضة . في مطلع القرن ، اثبت ف . كنوب F. Knorr دراسة فحمة حول تأكسد الحوامض الشحمية .

ويبين ان بول الكلاب المغذاة بالحمض بنزويك أو بحامض شحمي ، حيث ترتبط مجموعة الفيل بسلسلة أليفاتية مفردة ، يحتوي على حامض هيبيوريك في حين انه يحتوي [بول الكلاب] حامض فيناسيتوريك اذا كانت هذه الحيوانات قد غذيت بحامض تكون فيه المجموعة فليل واقعة في طرف سلسلة دهنية مزدوجة . وهكذا بدا بوضوح ان الحوامض الدهنية تتأكسد بواسطة المجموعة كاربوكسيل Carboxyle من آخر السلسلة ، وتستبدل فيها ذرتان من الكربون بأن واحد .

واكتشف فيما بعد ، مفعول أوليات أخرى ، ولكن كل الرسيمات التركيبية والتفهرقية يجب أن تهتم بالذرات الكربونية ذات المؤشر المزدوج في الحوامض الشحمية الطبيعية .

وتجلدت المفاهيم حول اختزان الشحوم في الجسم الحيواني على يد ر . شونهيمر R. Schoenhimer سنة 1935 .

استعمل شونهيمر تقنية التصوير النظيري radio-isotopes فلاحظ ان ترسبات شحمية غذائية تحصل حتى لو خضع الحيوان لنظام فقير بالكالوريات (الحراريات) ، وان نقصاً في هذه الترسبات يحصل حتى ولو كان المستوى الحراري للنظام يتجاوز الاحتياجات اليومية . وقد لوحظ

أيضاً بعد ذلك وجود وضع ديناميكي مماثل في بروتينات الجسم .

وبعد تجارب أجريت على جردان أخضعت لأنظمة تؤدي إلى تشحم الكبد ، عرف فانسان دي فينيو Vincent de Vignaud أهمية « نقل المثلث » Transméthylation وحاجة الجسم إلى بعض المركبات التي تحتوي على مجموعات مثيلية سهلة الفصل (ميثونين ، كولين ، بتاينين) .

أيضاً الأزوت - من المعروف منذ زمن بعيد ان البولة Urée هي مستحدث نهائي من أيض البيروتينات ، ولكن أولية انتاجه لم تكن معروفة بشكل كامل . ان دراسة تفاعلات النقل بدأت في الثلاثينات ، عندما لوحظ ان تبادلاً بين المجموعات الامينية والمجموعات سيتو Cétose يتحقق بسهولة تحت تأثير ناقلات اسمها ترانساميناز (Transaminases) . وبمساعدة مركبات موسومة بالأزوت -15 ، امكن اكتشاف وجود أزوت ملحوظ في المجموعات الامينية وان حوامض امينية أخرى موجودة في الأنسجة .

وتم اكتشاف مصدر مباشر للبولة على يد . كوسل A. Kossel هـ . د . داكين H. D. Dakin اللذين بيّنا سنة 1904 ان انزيماً هوارجيناز ، يجبر وراءه تحلل الارجينين بالماء إلى بولة وإلى اورنيتين . ان تشكل الارجينين مع مجموعته النهائية ، المحتوية على نسبة كبيرة من الأزوت ، قد توضح سنة 1932 من قبل كريس Krebs ، الذي بين ان حوامض امينية مثل الارجينين والسيترولين ، تحفز وتنشط تشكل البولة في أقسام الكبد . وعندها اقترح أولية دورية : الاورنيتين المتفاعل مع الامونياك والغاز كربونيك لتشكيل السيترولين ، وهذا الأخير يتفاعل مع زيادة الامونياك ليعطي الارجينين (ان مظاهر متنوعة من الكيمياء الاحيائية قد حلت في فصول مختلفة بيولوجية . من ذلك ان الهرمونات قد درست من قبل ر . كهل R. Kehi في الفقرة IV ، الفصل II من القسم الرابع ومن قبل ر . دوبري وج . دبوكو G. Desbuquois في الفقرة IV ، الفصل II من القسم الخامس ؛ وان البحوث حول التركيب الضوئي Photosynthèse قد وصفت من قبل ج . ف . لورو ، الفصل VII من القسم الرابع) .

VIII - الخلاصة

بخلال القرن العشرين ، انتقلت الكيمياء من حالة علم ناشئ يبحث بغموض عن أساساته ، إلى حالة علم ناضج ، يتكامل انطلاقاً من قوانينه الأساسية ، ويقدم مساهمات مهمة للعلوم الأخرى ، للطب وللصناعة وللزراعة . واحتل البحث الكيميائي من جراء هذا مكانه مهمة ، لا في الجامعات فقط ، بل أيضاً في البرامج الصناعية وفي الخطط الحكومية .

وبخلال هذا القرن شاع التأويل الرياضي للظواهر الكيميائية . وتسربت الرؤية الفيزيائية الكيميائية إلى الفروع الأخرى من الكيمياء ، وظهرت حتى في المجالات العضوية والبيولوجية . ان الأساليب الأدوية قد انتشرت في الكيمياء التحليلية ، وفي دراسة العلاقات البنوية ، فأناحت المحصول بسرعة على معلومات لم تكن تتاح بالوسائل التقليدية .

وظهور أفرقاء بحوث هو حدث مهم للغاية . وتشكل غالباً هذه الفرق من مجموعات من

الاختصاصيين يمثلون ليس فقط مختلف الفروع من الكيمياء ، بل ويمثلون الرياضيات ، والالكترونيك ، والتنظيم وحتى البيولوجيا والطب . وارتدى الاكتشاف بالتالي صفة الجماعية التي لم تكن بارزة بهذا الوضوح في الماضي ؛ من ذلك مثلاً ان المذكرة التي أعلنت عن اكتشاف الاينشتينيوم والفرميوم حملت أسماء ستة عشر عالماً . ودور المؤرخ في توضيح فروع وشعب الاحداث المؤدية إلى أعمال جديدة وإلى مفاهيم جديدة ، بدا أكثر فأكثر صعوبة ، نتيجة العدد الكبير من الباحثين ، ونتيجة تسارع المسار في البحث ، والميل إلى نشر الاكتشافات بشكل دقيق ومختصر وجزئي .

ان موضوع اتساع حجم الأدب الكيميائي أصبح مثيراً للاهتمام وشاغلاً ، لأن المتخصص يعاني اليوم من صعوبات ضخمة لتتبع تطور مجاله الخاص بالذات . ان نشرات الخلاصات التحليلية والمقتطفات أخذت تصطدم بنفس العوائق ، نتيجة العدد المتنامي باستمرار من النشرات الأصلية .

وهناك اليوم ظاهرة ذات مغزى ، هي ظاهرة العلاقات المتبادلة بين الكيمياء والعلوم الأخرى ، فعلم النبات وعلم الحيوان يتعرضان لتطور عميق في خصوصياتهما ، على أثر الدراسات الكيميائية حول الاثر الانزيمي ، وحول الايض في الخلية ، وحول تركيب المواد الوراثية وحول التغذية الحيوانية والنباتية . واهتم علم الجيولوجيا ليس فقط بالتركيب الكيميائي وبالبنية التبلورية لاشباه المعادن ، بل اهتم أيضاً بالتفاعلات الحرارية الديناميكية (ترموديناميك) الموجودة في التفاعلات الارضية . ان علم الفلك ، وعلم الفيزياء ، مهتمان بعمق بطبيعة المواد الجزئية والذرية والنووية ، الخاضعة لظروف غير اعتيادية .

ان البحوث الحالية في مجال الكيمياء تحمل على الظن ان انتباهاً خاصاً جداً يجب أن يتناول العلاقات المتبادلة عند المستوى الجزيئي . ورغم ان بنية معظم المركبات التقليدية (الاصطلاحية) قد توضحت بشكل مُرضٍ ، فهناك عمل مهم يبقى واجب الاداء ، فيما يتعلق بالمركبات غي رالمعتادة ، العضوية أو المعدنية . ان مثل هذه الدراسات يجب أن تؤدي إلى معرفة أفضل بطبيعة العلاقات الكيميائية والعلاقات الطاقوية المتدخلة بخلال التحولات ذات الطابع الكيميائي .

القسم الثالث

علوم الأرض والكون

الفصل الأول

الجيوديزيا⁽¹⁾ والجيوفيزياء⁽²⁾

مهما بد الأمر غربياً ، فإن علوم الأرض لم تتطور إلا بعد علوم الكواكب بكثير . وبقيت أدوات الاستقصاء دقيقة للغاية ، منذ أن تعلق الأمر بباطن كوكبنا ، سواء فيما يتعلق بالقسم الصلب منها ، أم بقاع المحيطات ، أو بالقسم الفضائي إذا تجاوزنا الكيلومترات من الغشاء الغازي الذي يحيط بنا .

ندرس في هذا الفصل ثلاثة علوم رئيسية هي : الجيوديزيا وبها تلتحق الجرافيمتريا (الثقالية) وعلم الزلازل (سيسمولوجيا) والجيومغناطيسية (أو مغناطيسية الأرض) . ولكننا نقدم أيضاً السمات الرئيسية في تطور الميترولوجيا (أو علم الأحوال الجوية = علم الأنواء) - بما فيه دراسة الفضاء الأعلى أوه الأبرونوميا « (Aéronomie) - وجغرافية المحيطات الفيزيائية .

والقسم الأهم في عرضنا يخصص للجيوديزيا ، وهي الفرع الوحيد ذو الجذور العميقة في القرون السابقة . ثم أن الجيوديزيا هي ذات أساس رياضي أكثر تعقيداً وهي التي قدمت لعلم الفلك أحد معطياته الأساسية : الشعاع الاستوائي الأرضي ، ومنه اشتقت كل القياسات الفلكية للمسافات .

I - الجيوديزيا والجرافيمتريا (قياس الجاذبية)

إن الهدف الأساسي من الجيوديزيا هو تثبيت « شكل وأبعاد الأرض » . إن هذه المسألة هي أكثر تعقيداً مما يبدو للوهلة الأولى . فزيادة على سمتها الجيومترية ، فإنها تعرض وجهاً ديناميكياً مرتبطاً بمفاهيم السطوح الخارجية وبالكُمون Potentiel الأرضي . ولا تحل هذه المسألة إلا بتدخل الارصاد النجومية التي تستند إلى الاتجاه في كل نقطة من الخط العامودي الفيزيائي (العامودي على

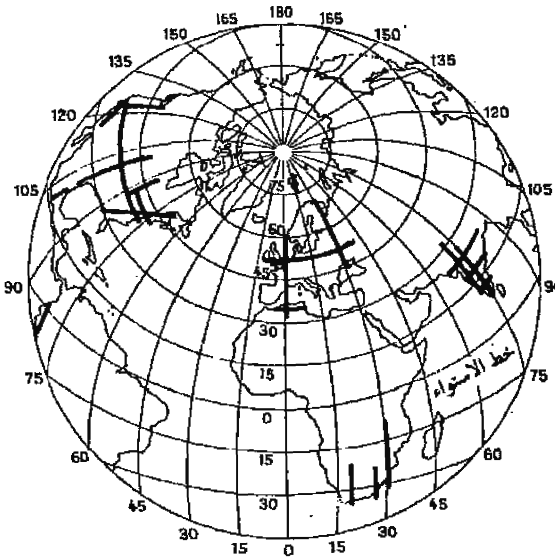
(1) الجيوديزيا أو مسح الأرض هي فرع من الفيزياء الجيولوجية يتضمّن تعيين حجم الأرض وشكلها وجمال جاذبيتها ، وتحديد أماكن نقاط مثبّنة على قشرة الأرض في إطار نظام إحداثي متعلّق بالأرض .

(2) الجيوفيزياء أو الفيزياء الجيولوجية هي فيزياء الأرض ومحيطاتها ، أي المحيط الصخري ، والمحيط الهوائي ، والفضاء (كامتداد لها) .

سطوح السطح الخارجي (وإلى قياس تسارع الجاذبية الأرضية المتجه وفقاً لهذا العمود ؛ ويفترض حل المسألة الأساس في الجيوديزيا ، المعرفة التفصيلية بحقل الجاذبية الأرضية سواء من حيث الاتجاه أم من حيث الزخم .

طريقة أقواس خطوط الهاجرة méridiens - في آخر القرن التاسع عشر بدت المسألة الجيومترية الخالصة المتعلقة بالشكل والأبعاد الوسطية للأرض شبه محلولة بواسطة طريقة أقواس خطوط الهاجرة ، وهي طريقة تم وضعها في منتصف القرن الثامن عشر ، كما كانت بشكل خاص موضوع بحثين شهيرتين ، الأولى إلى لابونيا (1736-1737) ، والثانية إلى البيرو (1735-1744) . (راجع مجلد II) .

وعرف القرن التاسع عشر تضاعف قياسات أقواس خط الهاجرة ، خاصة وان هذه القياسات



صورة 26 - أهم أقواس خطوط الهاجرة والمتوازيات المعروفة في مطلع القرن العشرين .

تفسيها استعملت في التثليث العادي للبلدان الكبرى ، وهو التثليث المتخذ كأساس لوضع الخرائط .

وعرف هذا القرن أكثر من ذلك تكاثر الحسابات الكبرى التركيبية التي تستعمل أكثر فأكثر أقواس خط الهاجرة ، التي أصبحت أكثر فأكثر دقة (الصورة 26) .

ورغم ان النتائج الحاصلة كانت مختلفة قليلاً فبالامكان الافتراض انه في أواخر القرن التاسع عشر كان نصف المحور الكبير من الاهليج الأرضي معروفاً في حدود ألف متر (علماً بأن القيمة

المتوسطة هي 6378000 متر) أما تسطحه فحُدِد بين 1/293 و 1/300 .

في سنة 1899 ، كلف الاتحاد الدولي للجيوإيزيا فرنسا أن تعود إلى قياس قوس خط الهاجرة الاستوائي (البيرو - الاكوادور) من جديد ، بعد أن كان قيس في القرن الثامن عشر وأن تجعل منه عملية ذات قيمة علمية عالية .

ودامت البعثة الفرنسية ، وقد اوكلت إلى المصلحة الجغرافية في الجيش الفرنسي ، ثماني سنوات قامت فيها بأعمال غير منقطعة ، منفذة في ظروف شاقة بشكل استثنائي فوق أعالي القمم في جبال كوردير دي أندس . وكانت النتائج المقلمة سنة 1907 ذات قيمة استثنائية . ومن بين الضباط الذين شاركوا كلياً أو جزئياً في هذه الاعمال ، يُذكر الجنرال ر . بورجوا R. Bourgeois (وكان يومئذ عقيداً) والجنرال ج . بيريه G. Perrier (وكان نقيباً يومئذ) .

طريقة المساحات - لاسلف ! في سنة عودة البعثة الفرنسية سنة 1907 نشر الجيوإيزي الأمريكي ج . ف . هيفورد G. H. Hayford نتائج اعماله حول طريقة جديدة متفوقة بشكل حاسم ، تنطلق من المساحات (لا من الاقواس) ، وسميت طريقة السطوح (The area method) . وتقوم على البحث عن التصحيحات الواجب ادخالها على العناصر المؤقتة المعتمدة من اجل حساب التثليث (والذي يمتد ليشمل اراض واسعة ما امكن) ، بحيث تُلغى تصحيحاً الانحرافات المتعلقة بالعامود والملحوظة في هذا التثليث .

الانحرافات النسبية في الخط العامودي - في حساب التثليث ، في بلد كبير ، الجاري سنداً لمساحة تتخذ كركيزة « عشوائية » مسبقة ، يتم خطوة خطوة حساب خطوط احداثيات مختلف قسم هذا التثليث .

ويتم اختيار نقطة انطلاق تُعتمد من أجلها كخط عرض وخط طول longitude قيم محددة فلكياً بعناية كبيرة للغاية . في نفس هذه النقطة ، توجه الشبكة بفعل القياس النجمي لسمت azimuth دقة « يُنقل » فيما بعد ، على طول السطح المرجع .

وبما أن احداثيات محددة نجومياً تستند إلى عامود مكان المحطة ، يمكن القول انه تم في الفضاء وضع سطح مرجع ذي ابعاد معتمدة بشكل اصطلاحي بحيث يتطابق ، في النقطة النجمية الاساسية ، العامود على السطح المرجع ، مع العامود الفيزيائي في المكان . ولا يتم هذا بالكامل بالنسبة إلى كل نقاط الكرة الارضية ، لأن كل الأعمدة الفيزيائية لا يمكن ان تكون عامودية على نفس المساحة الرياضية (إهليلجية الدوران ellipsoïde de révolution) المختارة بعناية كما يجب ان يكون .

وبقول آخر ، إذا ، في نقطة جيوإيزية ما من المنطقة المثلثة ، قمنا فلكياً بقياس احداثيات المحطة ، يجب الحصول على نتائج مختلفة عن النتائج الحاصلة بفعل العملية الجيوإيزية القائمة على نقل الاحداثيات ، نقلاً يتم سنداً لمعطيات التثليث . ويبدو الاختلاف محسوساً أكثر اذا كان التوزيع في الفضاء للأعمدة ، أقل انتظاماً ، أي اذا كانت كتل القشرة الارضية ، موزعة توزيعاً غير منظم .

وأفضل مساحات الامتداد التي يجب اعتمادها هي المساحة التي تقلص مجموع مربعات الاختلاف ، والمسمى ، بشكل غير ملائم نوعاً ما ، الانحرافات النسبية في العمود . ان هذا المفهوم قلماً دخل في النصف الثاني من القرن التاسع عشر . وهذا ما قام به هيفورد Hayford حوالي سنة 1907 بشأن معجل القارة الاميركية الشمالية ، مستعملاً 769 نقطة مقارنة فلكية .

الفرضيات الايزوستاتيكية (التضاغيطية isostatiques) - في الواقع أجرى هيفورد حسابات أكثر تعقيداً . بما كان يمتلك من خرائط دقيقة ، ممتدة بعيداً جداً ، فقد حسَبَ ، في كل من محطات المقارنة ، التأثير على اتجاه العمود في كل التضريس المجاور حتى عدة آلاف من الكيلومترات .

ولكنه في حين كان يأمل الحصول - في نهاية حساباته - على فروقات أقل بكثير من الاختلافات غير الصافية ، فقد حصل على نتائج أعظم بشكل محسوس . وكل شيء كان يجري كما لو انه - وهو يقدر تأثير كل اجزاء التضريس - زاد في تقدير هذا التأثير ، كما لو ان كتلة المرتفعات الجبلية يجب أن تعتبر « منفوخة » ، وهذا بمقدار ما يكون التضريس أكثر بروزاً .

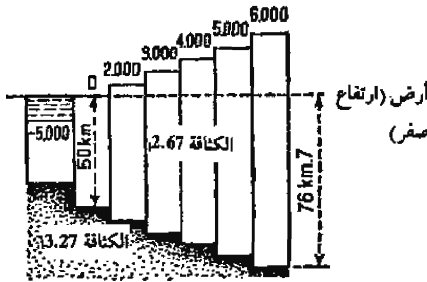
وقام هيفورد بمراجعة كل حساباته فادخل فرضية جديدة ، وهي فرضية التضاغيطية (Isostatic) التي صيغت سنة 1856 في كلكوتا من قبل ج . هـ . پرات J. H. Pratt .

وفقاً لهذا الباحث ان مختلف مساحات سطح الكرة الأرضية ، وهي مساحات توازن ، هي مساحات غير منتظمة تزداد قلة نظاميتها بمقدار ما تتوزع كلها بشكل غير منتظم في القشرة الارضية . ولكن انطلاقاً من عمق معين ، يجب ان توجد مساحات سطحية de niveau ذات شكل بيضاوي منتظم . ان عناصر متساوية من مساحات هذا الاهليج الداخلي يجب ان تحمل كتلاً متساوية فوقها : وكثافات (densités) القشرة الاضية ، يجب ان تؤخذ ، في كل مقطع ، بشكل يتناسب سلباً مع ارتفاعها altitude فوق المساحة الاولى الداخلية المنتظمة ، المسماة مساحة التعويض أو المقاصة (صورة 27) .

واتجه تفضيل الجيوفيزيائيين في أيامنا نحو فرضية أخرى تضاغيطية صدرت سنة 1855 من قبل الفلكي الانكليزي ج . ب . آيري G. B. Airy .

يقول آيري أنه يوجد عند عمق ما (يقدره معظم الجيوفيزيائيين بحوالي ثلاثين كيلومتراً) مساحة لا تتابع أو اختلال في الكثافات . ان الكتل العليا من القشرة ، وكثافتها المتوسطة (2,67) تعوم فوق ماغما لزجة أكثر كثافة ، كثافتها الوسطية 3,27 . . وهي تغوص فيها بعمق أكبر كلما كانت أثقل ، أي انها تشبه مقاطعات ذات ارتفاعات أعلى . وهنا يوجد حتماً تقلص في التضريس : ان المقاطعات الجبلية ، تحل على عمق أكبر من المواد ذات الكثافة 2,67 محل مواد ذات كثافة 3,27 (صورة 28) .

ان الحسابات الجارية وفقاً لهذه الطريقة أو تلك ، هي متساوية تقريباً ، ولكن فرضية آيري اقرب إلى معطيات الجيوفيزياء ، وخاصة أقرب ، إلى علم الهزات الارضية (سيمولوجيا) .



صورة 28 - فرضية آيري Airy

التضاغطية في عمق مقداره 50 كلم .

الاهليج الدولي المعياري-ان النتائج التي حصل عليها هيفورد اعتمدت سنة 1924 من قبل الاتحاد الدولي للجيوفيزيا وقد استخدمت بشكل عالمي دولي تقريباً .

- نصف المحور الكبير في الاهليج الهجري الارضي a 6378388 متراً .

انبساط هذا الاهليج $\alpha = 1/297$.

وتمت العودة إلى حسابات هيفورد مع معطيات محسنة ، وخاصة في الولايات المتحدة والاتحاد السوفياتي (كراسوفسكي Krassovsky وإيزوتوف Isotov) . ان النتائج الحاصلة بالنسبة إلى α هي على العموم أدنى بين 100 و 150 م من نتائج هيفورد ، والقيمة الأكثر احتمالاً في α (مثبتة برصد مدارات الأقمار الصناعية) تقع في حدود $1/298,3$. ولكن هذه الفروقات يجب ان لا تعتبر ذات معنى . فالمساحة المحددة على هذا الشكل ليست فعلاً إلا مساحة وسطية والمساحة عند المستوى صفر من الارض ، والمسماة « جيوتيد » géotide ، تتضمن « تموجات » تتراوح بين ± 100 م تقريباً .

ان المسألة الاساسية في الجيوفيزيا المعاصرة تقوم على معرفة الفروقات بين هذين السطحين . وتقريب هيفورد هو في كل حال ، كافٍ لتعريف سطح يمكن ان يصلح لاستخدامه كمساحة رياضية معيارية .

التقدم الضخم في مجال الغرافيمتريا - قلما التفت في القرن التاسع عشر الا الى القياسات المطلقة المتعلقة بزخم الجاذبية الارضية . وعقب قياسات بوردا Borda الشهيرة ، بديء بالاستناد إلى الرقاص المرتد الذي وضعه كاتر Kater سنة 1826 ، وإلى الرقاص المطلق الذي وضعه الجنرال ديفورج Defforges سنة 1887 ، وإلى رقاص ريسولد Repsold سنة 1880 ، والذي استعمله بوراس Borass وفورتونغلر Fortwaengler من اجل التحديد الاساسي في بوتسدام ، وهو ما يزال يستعمل في أيامنا كمحطة ارتكاز دولية . وللوصول إلى الدقة المطلوبة وهي في حدود واحد مليغال (1 milligal) ، يجب التعرف في حدود دقة نسبية تعادل (10^{-6}) إلى طول الرقاص المستخدم مع تصحيح تمدده ، الأمر الذي يعتبر صعباً جداً من الناحية الفيزيائية .

في أيامنا تم وضع طرق أخرى لقياس عناصر السقوط الحر : اما لمسطرة مرقمة (فوليه

Volet في برويتيل (Breteuil ، 1957) ، وأما لكرة من البلور متناهية الكروية (آ هـ . كوك Cook في تدينغتون Teddington 1926) . ان موضوع هذه التجارب الصعبة جداً كان تحديد قيمة استنادية يمكن أن تستخدم دولياً ، وليس الحصول على العديد من القيم التفصيلية .

القياسات النسبية للجاذبية الأرضية - منذ أواخر القرن التاسع عشر ، تم اجراء قياسات نسبية للجاذبية الأرضية بواسطة رقاصات غير متغيرة . وارتكزت الطريقة على حدث هو - سندا لقانون هويجنس Huygens - ان قيمة g في نقطة ما تناسب عكساً مع مربع الحقبة المقاسة .

وعندها تنتفي الحاجة إلى معرفة الاطوال المطلقة للرقاص المستعمل . والتصحيحات الواجبة الادخال على القياسات (اذا كانت ضعيفة) يمكن ان تعتبر ذات صفة تقاضلية ، شرط أن يكون بالامكان اعتبار الرقاص ثابتاً لم يتغير بين اللحظة التي عمل فيها عند النقطة A حيث الجاذبية الأرضية معروفة ، وعند النقطة B حيث يُرغب في معرفة القيمة المحلية للجاذبية (ان التسهيلات المقدمة لتشغيل هذه الطريقة ، باستعمال الاشارات الساعاتية التلغرافية التصويرية قد ورد ذكرها في دراسة ج . ليفي J. Lévy ، الفقرة 1V ، الفصل IV من هذا القسم) .

ان مثل هذه القياسات النسبية ، الاسهل ، يمكن ان تطبق على عدد أكبر من المحطات التي تشكل بالنسبة إلى محطة استنادية شبكة متجانسة دقيقة بشكل كاف . وهي يمكن أن تستخدم أيضاً للربط فيما بين مختلف المحطات المطلقة المحققة في مختلف البلدان ، بشكل يمكن من تحديد محطة استناد دولية وحيدة .

ومن بين الاجهزة الرقاصة النسبية ، التي تم انجازها ، نذكر اجهزة الفرنسي ديفورج (1895) Defforges ، والنمساوي فون شترنك Von Sterneck (1887) ، والاميركي مندهول Mendenhall (حوالي 1935) ، ومدرسة بوليتكنيك ميلانو (1960) الخ . وفي الحالات الأخيرة المذكورة ، يتعلق الأمر ، في الواقع ، بتطبيق فكرة قياسات أرضية خصبة للغاية وضعت سنة 1925 من قبل الجيوديزي الترنلدي ف . آ . فين ماينز (F. A. Vening Meinesz) حول قياسات تحت البحار . ان ميزان الالتواء الغرافيمتري الذي وضعه ل . ابوتفوس L. Eotvos (1895) قد طبق أيضاً وبنجاح على القياسات الغرافيمترية النسبية وعلى التنقيب البترولي .

التحديات الغرافيمترية في البحر - هذه القياسات هي ذات أهمية بالغة لمعرفة حقل الجاذبية الأرضية ، من جراء اتساع المحيطات وبسبب غياب كل تضريس سطحي بارز (ان تضريس المحيطات ما يزال غير معروف بشكل كاف) .

وقد تم تحقيق انجاز ضخم نوعاً ما في هذا المجال سنة 1923 إلى سنة 1925 من قبل فين ماينز Vening Meinesz الذي استعان بنظام من أربعة رقاصات منظمة بشكل ذكي ، فنجح في استبعاد اثر التيارات الطولية والاعتراضية المفروضة على السفن بفعل حركة البحر .

وقد شكل رقاص فين ماينز انجازاً كبيراً في دراسة حقل الجاذبية الأرضية . ولكنه لم يستعمل الا في الغواصات المجهزة عند بضعة امتار من العمق ، مما حد كثيراً من استخدامه .

ويتجه العلماء اليوم نحو أجهزة يمكن أن تستخدم على سفن سطحية (على الأقل في أوقات السكون) . وقد تم حتى الآن إنجاز نوعين من الأجهزة : الاول الماني (اسكانيا - غراف) والاخر أميركي (لوكوست - رومرغ) . والاثنان يستخدمان مصاطب مثبتة بشكل يتناسب مع الريح . والنتائج الحاصلة حتى الآن تبشر بالخير ، ولكن لا بد من إنجازات جديدة بعب تحقيقها في هذا المجال .

الغرافيمترات الاستقطابية (d'interpolation) - ان الغرافيمتر الاستقطابي يتكون من آلة تعطي « إشارة » هي دالة على قيمة محلية لـ g [الجاذبية الأرضية] في النقطة التي تتخذ كمحطة . ان هذه الدالة لا تحتاج لأن تعرف ، ولكن يجب أن تكون مستقرة . ويمكن في هذه الحالة ان تحدد تجريبياً وذلك بتشغيل الآلة في أمكنة مختلفة A, B, C . . . حيث تعرف مسبقاً قيم الجاذبية g_A, g_B, g_C . . التي حددت مثلاً بواسطة راقصات نسبية . ان الغرافيمترات الاستقطابية الموجودة في الوقت الحاضر تستخدم ظاهرات متنوعة نفي بالشرط السابق .

وتتضمن غالبية هذه الأجهزة خيوط التواء . ومن أوائل الأجهزة من حيث التاريخ (وقد تجاوزناه اليوم تماماً) كان الرقاص المقلوب الذي وضعه هولوك ليجاي Howeek-Lejay ، سنة 1930 . وهي كلها تتسم بنفس الصفة : حساسية بالغة ، تتيح أحياناً تقدير واحد على مئة من المليغال ، كما تتميز أيضاً بعدم الاستقرار ، الذي يترجم بوجود انحراف في قراءات الجهاز . وقد شاع استعمالها تملأ ، في الجيوڊيزيا ، كما في الاستكشاف الجيوڤيزيائي والمنجمي وعدد النقاط حيث تعرف g في حدود عدد قليل من المليغال يربو على مئات الألوف (الغال gal يعادل سرعة متر في ثانية الثانية 1m/s . والوحدة العادية ، المليغال ، تساوي جذب قشرة من الأرض ، ذات كثافة وسطية ، من عشرة أمتار من السماكة ، أو بوجود قشرة من 100 متر من السماكة ذات كثافة تختلف بمعدل 10% عن الكثافة الوسطية لقشرة الأرض) .

الشذوذات على الجاذبية الأرضية - ليست قيم g بالذات هي التي تجمع وتنتشر ، بل الانحرافات التي تمثلها هذه القيم بالنسبة إلى قيم تسمى عادية والتي تتطابق مع الاهليلج الدولي المستندي ، المفترض بدون نوء والمحرك بحركة دائرية بخلاف 24 ساعة . ان هذه الانحرافات تسمى شذوذات الجاذبية الأرضية ؛ ولا يتعلق الأمر فعلاً بقيم « غير عادية » تتخذها الجاذبية الأرضية بل بانحرافات في القيم الحقيقية بالنسبة إلى نظام مستندي محدد هكذا .

كان كليرو Clairaut أول من أعطى سنة 1756 معادلة توزيع التسارع في الجاذبية الأرضية فوق سطح اهليلج دائري بحالة دوران . وقد تم تحسين هذه المعادلة من قبل العديد من الجيوڊيزيين وخاصة هلمرت سنة 1884 وبيزتي Pizzetti سنة 1923 وموميجليانا Somigliana سنة 1929 .

والمعادلة النهائية هي التالية $g_\phi = g_0 [1 + \beta \sin^2 \phi + \beta_1 \sin^2 2\phi]$.

في هذه المعادلة g_ϕ تمثل قيمة g عند الموقع ϕ ، g_0 قيمة g عند الموقع صفر (الجاذبية الاستوائية) و β و β_1 هما معاملان يدخل في تعريفهما الشكل ، والابعد وسرعة دوران الاهليلج المنظور .

أن g_0 لا يمكن أن تتحدد عملياً إلا بالتجربة ، وذلك باستخدام قياسات جرت عند مواقع متنوعة ردت بعدها إلى ارتفاع صفر . أن هذه النتائج المتنوعة يجب أن تشكل مجملًا متجانسًا ويجب أن تعاد إلى قيمة المستند (المرجع) الدولي . وهذا المستند الدولي يتدخل بالتالي في القيمة الطبيعية العادية للجاذبية كما يتدخل في قيمتها الملحوظة داخل شبكة ما . أن شذوذات الجاذبية الأرضية لا تتأثر كثيراً بعدم يقين يمكن أن يسود على هذه القيمة الدولية للاسناد (أن قيمة الاسناد المعتمدة حالياً والتي ترد إلى مركز بوتسدام قوية من عيار 12 إلى 15 مليغال ، والجيوديزيون يأملون بأن لا يتم التصحيح المطابق إلا بعد تحديده بدقة وبعض الفيزيائيين وعلماء الارصاد الجوية يمتنون بالعكس أن التصحيح ، حتى وإن لم يكن كاملاً ، يجب أن يتقرر منذ الآن) .

أن الصيغة الدولية للجاذبية العادية المعتمدة سنة 1930 من قبل الاتحاد الدولي للجيوديزيا هي : $g_\phi = 978,049 [1 + 0,005288 \sin^2\phi - 0,000006 \sin^2 2\phi]$.

والنتائج المقابلة لتطبيق هذه المعادلة قد وضعت بشكل جداول تبعاً للموقع ϕ (جداول كاسيني ودور (1933, Cassinis et Dore) . والقيمة الاساس $g_0 = 978,049$ تحدت على أثر عمل تركيبي نشره الجيوديزي الفنلندي هيسكانن Heiskanen سنة 1928 .

تخفيض القيم الملحوظة للجاذبية الأرضية - قبل مقارنتها بقيمتها الطبيعية ، تخفيض القيم المرصودة للجاذبية بمقدار الارتفاع صفر أي بمقدار « الجيويدي » « géoïde » . ويمكن تصور هذا التخفيض بأشكال مختلفة ، ونحصل على قيم مختلفة للشذوذات بحسب طريقة التخفيض المتبعة . أن موضوع خفض رصدات الجاذبية ، معقد للغاية .

أن تصلحاً أول يسمى الهواء الطلق ، يدخل ارتفاع نقطة المحطة : وخطاً من ثلاثة أمتار على هذا الارتفاع يدخل خطاً مقدار مليغال على التصحيح . أن الغرافيمتريا وتسوية المستوى nivellement مرتبطان تملأ .

وتصحیحات التضريس المجاور لا يمكن أن تحسب إلا بشكل موجز واصطلاحي . والحساب البسيط يقوم على افتراض أن محطة ذات ارتفاع H هي محطة بمصطبة لها وسطياً نفس الارتفاع . أن تصحيح هذه المصطبة ، المسمى تصحيح بوغر Bouguer يعتبر في أغلب الأحيان كافياً للاستكشاف الجيوفيزيائي ، ولكنه لا يمكن أن يكفي لخدمة الجيوديزيا النظرية . أن تصحيحات التضاريسية يجب أن تحسب مقاطعة فمقاطعة حول المحطة . وهذا الحساب الطويل والمكلف يقتضي استعمال خارطات طوبوغرافية جيدة تذهب بعيداً عن المحطة . والتصحيحات تتناقص في البداية بمقدار البعد . ولكنها تزايد بالتالي بفعل سطح $superficie$ الأرض . وقد دلت كل الدرامات التي اجريت على ضرورة ادخال مفهوم الايزوستازيا Isostasie (منهج برات Pratt أو منهج إيرى Airy) مما يدعو إلى الاختيار الاصطلاحي نتمق تعويضي مقاصي .

شذوذات الجاذبية الأرضية في مجال الجيولوجيا والجيوفيزياء - أن شذوذات الجاذبية الأرضية تؤول ، نوعياً ، بشكل خاص من قبل الجيولوجيين والجيوفيزيائيين .

وبشأن مسائل الجيولوجيا السطحية ، حيث يلعب الاستكشاف الجيوفيزيائي والبترولي والمنجمي دوراً كبيراً ، يتعلق الأمر أساساً بدراسات اقليمية .

ان تأويل خارطرات تساوي الشذوذ التفصيلية يتيح التأكيد (أو الدحض) مع احتمالية لا يستهان بها ، لاستنتاجات تعطىها دراسة جيولوجيا الطبقات المجاورة معقولة مقبولة . وتأتى الصعوبة الرئيسية من كوننا لا نعرف ما إذا كانت الشذوذات الملحوظة لها أسباب محلية أو مجموعة عارضة من جاذبيات كتل غير منتظمة التوزيع . ان الجيوفيزيائيين والكشافيين يستخدمون بشكل خاص الشذوذات المحسوبة وفقاً لنظام بوغر Bouguer (الهضبة) .

وفيما خص مسائل جيولوجيا العمق نستخدم بصورة أولى الشذوذات التضاغطة . وهناك نتائج ذات منفعة استثنائية قد حصل عليها في هذا المجال فينمين ماينز Vening Meinez في حدود الثلاثينات اثناء عدة مهمات تحديدية ، في غواصة في المحيط الهندي وجنوبي الباسيفيك ، وخاصة في منطقة اندونيسيا وأستراليا . إن رسمية المناطق ذات الشذوذات التضاغطة ، الالجابية أو السلبية ، ترتد جزئياً في حالات كثيرة إلى كتابة تاريخ بعض الانقلابات الجيولوجية في الارض .

شذوذات الجاذبية الارضية في الجيويزيا - وبشكل كمي تستخدم شذوذات الجاذبية الارضية من قبل الجيويزيين لحل المسألة العامة في الجيويزيا كما هي معروضة فيما بعد .

في سنة 1867 قرر ج . ج . ستوكس G. G. Stokes قاعدة أصبحت كلاسيكية ، وبموجبها ان مساحة جسم محدد بمساحة سطحية لا تتعلق الا بشكل هذه المساحة وبالكتلة العامة ، لا بتوزيع الكتل الداخلية . واعتمد ستوكس في أول تقريب اهليلجاً استنادياً كمساحة سطحية ، فأصبح من الممكن استخدام الشذوذات في الجاذبية الارضية (المتطابقة مع نفس هذه المساحة الاهليلجية) لتحديد تمرجات الجيويد *géοide* بالنسبة إلى هذه المساحة .

نشر ستوكس أيضاً سنة 1880 المعادلة التي تعطي الانحراف المتري العامودي N بين الجيويد والاهليلجي . ودلت هذه المعادلة أن N هي نتيجة دمج تكاملي يدخل تفكيكاً للسطح الأرضي إلى مساحات أولية ds يجب معرفة شذوذات الجاذبية في كل منها . ويفترض عموماً أن هذه القيم يجب أن تعرف بالنسبة إلى كل مساحة أولية من سطح الارض من عيار درجة ضرب درجة $(1'' \times 1'')$ ويفصيل أكبر بالنسبة إلى الجوار المباشر لنقطة المحطة . الواقع ان عدد النقاط حيث g معروفة ، غير كافٍ لاتاحة حساب اجمالي دقيق ، خاصة فيما يتعلق بمساحة المحيطات ، وكذلك الاقسام الوسطى من افريقيا واميركا الجنوبية . ومع ذلك فقد نشرت خارطرات للجيويد *géοide* تعطي فكرة واضحة نوعاً ما عن النتائج التي تتحسن صحتها سنة فسنة . ان التمرجات الحاصلة ذات اتساع لا يتجاوز 120 م (± 40 بالنسبة إلى أوروبا) .

المسألة الأساسية في الجيويزيا المعاصرة - تقوم هذه المسألة على تأمين التوافق ، بالنسبة إلى كل نقطة ، بين الاحداثيات النجومية والاحداثيات الاهليلجية المستندة إلى اهليلج مستندي وحيد بالنسبة إلى الأرض كلها .

في الطريقة التي وصفناها ، ان اهليلج الاستناد الذي اعتمد لحسابات التثليث وضع بشكل مماس Tangent للجيوئيد géoïde ، عند النقطة النجومية للاتلاق ، ثم اعتمدت مثل هذه النقطة بالنسبة إلى كل مجموعة تثليث (وفيها تتطابق الأعمدة على الاهليلج وعلى الجيوئيد) .

في المسألة العامة يجب ان يوضع الاهليلج في الفضاء بشكل يجعل مجمل عواميده normales يتطابق بصورة فضلى ، مع مجمل الأعمدة الحقيقية وهي معطيات فيزيائية تجريبية . وللاتقال من الاحداثيات النجومية إلى الاحداثيات الجيوديزية في هذا النظام العام ، تكفي معرفة - في النقطة المعينة - الزاوية الصغيرة الموجودة بين المساحتين . ان هذه الزاوية المسماة الانحراف المطلق للعمود ، يجب ان تتحدد بمكوناتها « شمال - جنوب » و « شرق - غرب » .

وعندما تحل هذه المسألة يمكن حساب ، مثلاً ، المسافة بين نقطة من القارة الأوروبية ونقطة من القارة الاميركية ، وحساب السميت في الخط الجيوديزي الذي يجمع بين هاتين النقطتين ، وهو أمر لا يمكن اجراؤه الآن بدقة .

ان التطبيقات العسكرية لهذه المسألة ثابتة بشكل كاف حتى يمكن بدون مشقة اعطاء مصداقية مهمة لهذه التحديدات الجرافيمترية فوق القارات كما فوق المحيطات . وانها لفرصة سعيدة بالنسبة إلى انجازات العلم . انما لسوء الحظ فإن قسماً كبيراً من هذه النتائج الحاصلة حتى هذا اليوم يبقى محصوراً بالسرية العسكرية ، ومن المأمول ان يتغير هذا الوضع في وقت قريب .

ان حساب الانحرافات المطلقة في العمود يتم بالتضيق بين المعادلة العامة التي تعطي N وفقاً لاتجاه شمال - جنوب ووفقاً لاتجاه شرق - غرب . وقدمت المعادلات من قبل فين ماينز - Ven ing Meinesz وج . دي غراف هنتر J. de Graaff Hunter حوالي سنة 1922 . ويعطي هذا الاسلوب انحدار مساحة بالنسبة إلى أخرى أي يعطي زاوية العمودين فوق السطحين .

التعريف الجديد للارتفاعات - ان هذا التعريف ليس بسيطاً كما يبدو لأول وهلة . فالقول ان الجبل الابيض يعلو 4810 متر فوق سطح البحر هو تعبير تصويري ولكنه يخلو من الدقة . والصعوبة الاساسية تأتي من ان تغير g فوق الجيوئيد géoïde مرتبط بالارتفاع مما يجعل سطوح المساحات غير متوازنة .

ولكن الاداة المستعملة في عمليات ضبط التسطح ، وهو المقياس الناظوري niveau à lunette ، تستخدم لقياس فروقات المستويات لا فروقات الارتفاعات . ويمكن تصور مثل هذه الآلة وكأنها تسير فوق مساحة مسطحة . فإذا كانت هذه المساحة على ارتفاع الف متر فوق خط الاستواء ($g_0 = 979$) فانها لن تكون الا على ارتفاع قريب من 995 م فوق القطب ($g_{90} = 984$) .

هذه المعلومات معروفة منذ أعمال الكولونيل غوليه Goulhier (1880) وهلمرت (1884) Helmert وش . لالماند Ch. Lallemand (1890) . وقد أمكن تقديم حل نهائي في سنة 1954 فقط تقريباً ، عندما بدا انه من الممكن ، بواسطة الجرافيمتر الاستقطابي ، تكثير القياسات المباشرة لـ g على طول خطوط الشبكة الرئيسية للتسطيح .

وحتى السنوات الأخيرة هذه ، كانت النتائج غير الصافية للتسوية الملحوظة تخضع لنوعين من التصحيحات النظرية الخالصة ، من أجل احتساب عدم التعادل المسافي بين المسافات السطحية . ان التعابير التي دلت على هذه التصحيحات قد ارتكزت على معادلة كليرو وعلى « حد التصحيح » المعزول إلى الارتفاع سندا لنظرية بوغر Bouguer المبسطة .

ومنذ 1955 ، ان عمليات التسطیح ، بالنسبة إلى الشبكات الرئيسية ، تستكمل من مكان إلى مكان بالعديد من التحديدات المباشرة لـ g ضمن فسحة تتغير بتغير التضريس وتغير البنية الجيولوجية . وبدأ من نقطة انطلاق (واقعة فوق شاطئ البحر ومزودة بمارغراف marégraphe جامع يتيح تحديد المستوى الوسيط للبحر عند هذه النقطة) عندها تحسب الكميات أمثال $[g, dh]$ التي تجمع تباعاً . وهكذا يحسب بالنسبة إلى نقطة ما A علوها الجغرافي الكامن (c) $g_{\text{éopotentielle}}$ ، المحدد بالمعادلة : $(c = \sum^A g, dh)$. ثم من أجل الانتقال فيما بعد إلى الارتفاع بالذات عند A ، تجب قسمة c على القيمة المتوسطة لـ g ، ونفترضها \bar{g} ، على طول العمودي على A . ان هذه الكمية ، ذات القيمة الصحيحة المجهولة من قبلنا ، يمكن ان تستبدل بتعير مقارب ؛ ان الخطأ الداخول هو خطأ فردي لا يؤثر على بقية الشبكة . ان هذه الشبكة تحسب عندها وفقاً لطريقة وحيدة النهج مستقلة عن الشبكة ، وهذا لم يكن يحدث بحسب الطرق القديمة .

انه عبر المرور بالمعادلات الجغرافية الكامنة ، تم وضع أسليبوبرشر به بين 1955 و 1959 لتصحيح عام لكل شبكات التسطیح في أوروبا الغربية والشمالية ، مما مكن من اجراء مقارنات ذات فائدة قصوى بين المستويات المتوسطة في مختلف البحار التي تحيط بأوروبا : المحيط الاطلسي ، البحر المتوسط ، بحر الشمال ، بحر البلطيق . وهذه العملية قد انتهت تماماً بفضل الاتحاد الدولي للجيوديزيا .

II - علم الهزات الأرضية (سيسمولوجيا)

ان الهدف الأساسي من علم الزلازل (سيسمولوجيا) هو دراسة الزلازل ، وهي حركات طيمية مفاجئة تعترى القشرة الأرضية ، لفترة وجيزة ، وتنطلق من مركز دائماً ما يكون محدود الأبعاد . وكل المراكز المعروفة تبعد أقل من 720 كلم عن سطح الأرض . والطاقت المحررة يصعب قياسها وزخم الهزات يقاس عادة بمفاعليها ، التي تصنف هي أيضاً وفقاً لسلم اصطلاحي .

مختلف انماط مقاييس الهزات الأرضية - ان علم الزلازل (سيسمولوجيا) لم يظهر كعلم الا عندما امكن ، بواسطة المقاييس الدقيقة والحساسة ، تسجيل الموجات التي تحدثها الهزات والتي تنتشر الى الاف الكيلومترات بعيداً عن المركز (أي في بقعة فوق سطح الأرض حيث ينتهي الشعاع المار بالبؤرة) .

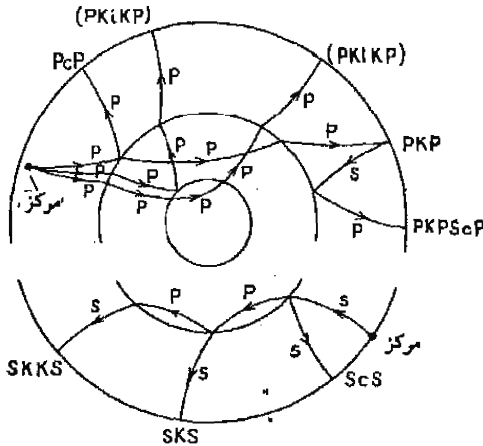
والمقاييس تكون عادة من نمط رقاصي ، اما أفقياً أو عامودياً . والكتلة المتأرجحة أو الراقصة هي من حيث المبدأ كبيرة جداً ، وبفعل الجمود ، فهي لا تشترك الا قليلاً بالزعة الأرضية ، التي تؤثر عادة في ركيزتها . ورغم ذلك تحدث تأرجحات تنظم لكي تطول مدتها ، مع بذل الجهد ،

بعده وسائل ، من أجل تمويتها بسرعة . واتساع الحركة يجب ان يضخم كثيراً ، اما بوسائل بصرية ، أو خاصة بوسائل كهرومغناطيسية (مقياس غاليتزين Galitzine ، ومقايس بنيوف ، Benioff ، ووينر Wenner وكولومب - غرنت Coulomb - Grenet) وغيرها ، وبعض المضخمات قد تبلغ مئتي ألف مرة .

مختلف مسارات الموجات - ان التقدم الضخم المحقق في تقنية التسجيل والدراسات النظرية والتطبيقية حول مختلف مسارات الموجات المسجلة وتأويلاتها أتاحت لعلم الزلازل ان يصبح مصدراً رئيسياً لمعارفنا حول باطن الأرض - وبذات الوقت أن يصبح إحدى الوسائل الأكثر فعالية في مجال الاستكشاف الجيوفيزيائي والمنجمي (بواسطة هزات كاذبة محدثة بانفجارات باطنية محلية) .

ان الموجات المسجلة هي كثيرة التعقيد . وعند البعد عن المصدر ، نلاحظ وجود تمدد في خط الزلزلة Séismogramme وفصلاً أفضل بين مختلف مسارات الموجات ، ذات الطبيعة المختلفة أو التي اتبعت مسارات مختلفة عبر الكرة الأرضية أو سطحها .

وقد تم التعرف عموماً على ثلاث مراحل رئيسية تسمى P (الموجة الأولى) ، S (الموجة الثانية) و L (الموجات الطويلة) . ان الموجات P والموجات S ، ذات السرعات الظاهرة المتزايدة بتزايد المسافة ، تنتشر عبر الكرة ، في حين ان الموجات L ، ذات السرعة الثابتة ، تنتشر فوق سطحها . والموجتان الأولى والثانية مساراتهما مقعرة باتجاه السطح ، وهي متجاوزة ، انما بسرعات مختلفة ، اكبر بالنسبة الى مسارات اعماق .



صورة 29 - مسارات مختلف أنماط الموجات الزلزالية .

والمرحلة P تتكون من تموج مستقيم ضمن سطح الانتشار ، في حين ان المرحلة S مستقطبة ضمن سطح عامودي (موجات طولية وموجات اعتراضية) .

ان المرحلة L ، تتميز بوضوح بحسب ما اذا كان المقياس المستعمل يسجل المكوّن الافقي

أو العامودي للزعة (موجة لوف Love وموجات رايلي Rayleigh) .

وقد وضعت طرق متنوعة للدراسة سرعات انتشار مختلف الموجات - وخاصة موجات P - تبعاً للعمق h حيث ان قانون التغير المحدد بهذا الشكل يعرف بشكل المسار . وقد تم تحضير برنامج دولي للتجارب الزلزالية ، وللحفريات العميقة من أجل التوفيق بين الدراسات حول طبيعة القشرة الأرضية (1962) .

باطن الأرض - ان النتائج الحاصلة ، منذ سنة 1920 تقريباً ، على يد باحثين مختلفين (هـ . جفريس H. Jeffreys ، وب . غوتنبيرغ B. Gutenberg ، وش . ف . ريختر C. F. Richter ، الخ) . هي على العموم ، على اتفاق جيد : ان توزيع سرعات الموجات P تبعاً للعمق يظهر ثلاثة انقطاعات توافق الأعماق 50 كلم ، 2900 كلم ، و 5100 كلم (وسرعات الانتشار تصل في أقصى الحدود من 6 كلم إلى 11,2 كلم في الثانية) .

ان هذه الانقطاعات تفصل بين أربعة أماكن : النواة الداخلية ذات الشعاع 1270 كلم ، والنواة بالذات وشعاعها 3470 كلم (أي 2900 كلم من السطح ، انقطاع غوتنبيرغ ، 1913) ، ثم المعطف الذي يبدأ عمقه ، بحسب المؤلفين ، من 50 إلى 100 ، إلى 200 أو 400 كلم ، وأخيراً القشرة .

ولا تظهر الموجات S أبداً أبعد من 3000 كلم تقريباً . بالمقابل ، في القشرة الأرضية ، أظهرت أعمال موهوروفيتشي Mohorovicic ، التي نشرت سنة 1909 ، مرحلتين من P ومرحلتين من S متميزتين . وتفسر هذه النتيجة عموماً وكأنها تتوافق مع وجود انقطاع حوالي الكيلومتر خمسين (انقطاع موهوروفيتشي) ، ويتراوح سمك القشرة بشكل محسوس جداً تحت القارات أو تحت السطوح المحيطية (راجع أيضاً دراسة ر . فورون R. Furon في الفصل الثالث من هذا القسم) .

عندما تلقي موجة (P أو S) سطحاً انقطاعياً ، فإنها تولد ، اما موجات معكوسة ، أو موجات مكسورة محروفة . والموجات S ، بشكل خاص ، لا تظهر أبداً داخل النواة بالذات ، مما يفسر بأن النواة تعمل عمل المانع :

فرضية رامسي Ramsey - من المقبول غالباً في أيامنا ان الأرض تتألف من « مواد » وسطى ، ذات تركيب مشابه أساساً للتركيب الموجود في الشمس ، ولكنه تغير منذ الحالة الأساسية (الغازية) بفعل تسرب شديد للعناصر الأكثر خفة ذات الأساس الهيدروجيني . ان كثافة الأرض المتوسطة قدرت بـ 5,5 في حين ان كثافة الشمس هي 1,4 .

والانقطاعات الملحوظة ، لا تبدو وكأنها متأتية من فصل للمواد بشكل طبقات وحيدة المركز ، مما يتطلب عدة الاف من مليارات السنين لكي يتحقق بشكل كامل كالشكل الملحوظ مثلاً عند العمق 2900 كلم .

في فرضية و . هـ . رامسي W. H. Ramsey (1949) التي تبناها أيضاً العديد من

الجيوفيزيائيين ، تفسر هذه الانقطاعات وكأنها تغييرات في حالة المواد شبه المرحلة الشكل والتي تتكون منها الأرض .

وفوق ضغط معين ، تنتقل الاجسام مهما كانت ، الى الحالة المعدنية ، التي تتميز بتوصيلية جيدة للكهرباء وللحرارة . والبحوث التي جرت في مجالات الفيزياء والكيمياء ، تحت ضغوطات عالية جداً ، وفي درجات حرارة مرتفعة ، قدمت معلومات مهمة حول هذا الموضوع .

ان الكشافات الموثقة ، وهي بمقدار 2,7 بالنسبة إلى الكيلومترات الاربعين أو الخمسين الاولى ، تنتقل الى ما يعادل 3,3 (أوليفين Olivine) بعد هذا العمق لكي تصاعد تدريجياً حتى 5,7 . ان الانتقال إلى النواة ، يتوافق مع تغير مفاجيء في الكثافة من 5,7 الى 9,3 ثم يتزايد هذا التغير حتى 11,7 ثم ينتقل بسرعة ، نوعاً ما ، إلى قيمة مقدارها 17 ، متخبطاً سطح « النواة الداخلية » .

III - المغناطيسية الأرضية

ان الاستعمال المعمم للبوصلة حمل الجيوفيزيائيين (علماء فيزياء الأرض) على درس يزداد وضوحاً ودقة ، لمختلف مظاهر الحقل المغناطيسي الأرضي : ومنها الانحراف (المستعمل مباشرة في البوصلات) والميل - [ويقصد بالانحراف *déclinaison* الزاوية - الفرق بين الشمال الأرضي والشمال المغناطيسي ، في حين يعني الميل *inclinaison* ، انحدار جسم الابرة المغناطيسية عن استواء خط الأفق] - وأخيراً الاتجاه بالذات وزخم الحقل الأرضي .

وتم أول انجاز عبر إقامة - يُبدى بها خلال القرن التاسع عشر - مراصد مغناطيسية دائمة حيث تتيح معدات تسجيل دائم تتبع التغيرات عبر زمن مختلف عناصر الحقل : تغيرات ذات أمد قصير ومتوسط وطويل . من هذه المعلومات أو الاشارات أمكن استخراج القيم المحتملة للتصحیحات الواجب ادخالها على العناصر غير الصافية المقاسة في لحظة وفي مكان معينين للحصول على القيم الوسطى لهذه العناصر .

دراسة الحقل الوسط - أتاحت النتائج الحاصلة الاستنتاج بوجود حقل وسط متغير ببطء ، ووجود حقل اضافي عشوائي مباشر ، ضعيف نسبياً ودائم التغير . ان هذين القسمين من الحقل الأرضي لهما مظاهر ومناشئ مختلفة .

ان التغيرات في الحقل الوسط ، المحدد وفقاً لبعض الاصطلاحات ، تترجم بتغير يسمى *Séculaire* . ان هذه الملاحظات أتاحت وضع خاوطات للشذوذات المغناطيسية التي يمكن ان تكون محلية ، اقليمية ، أو التي تعني مجمل بلد كبير ، مع الاخذ في الاعتبار فرق التواريخ .

لقد درس غوس *Gauss* الحقل المغناطيسي الأرض . وقد بين هذا العالم ان هذا الحقل له أسباب داخلية وهو متفرع من كمون *Potentiel* لا اتجاه له (*Scalaire*) . وعبر عنه بتعبير بشكل تطور تسلسلي (1839) . وقد اهتمت دراسة غوس قليلاً بخلال القرن التاسع عشر ، ولكنها استعبدت ووطورت في السنوات الأخيرة ، خاصة حوالي سنة 1945 من قبل فستين *Vestine* في الولايات

المتحدة ، ومن قبل افانا سيفا Afanasieva في الاتحاد السوفياتي ، ومن قبل جونز Jones وميلوت Melotte في بريطانيا ومن قبل شاكرابارتي Chakrabarty في الهند .

ان منشأ الحقل الوسط وتغيراته الدهرية كانت في السنوات الأخيرة ، موضوع دراسات ذات فائدة كبيرة للغاية (الساسر Elsasser وبوللر Bullard) . وترتبي النظريات الحالية وجود تيارات كهربائية أرضية تنطلق من نواة الأرض الداخلية ، السائلة والموصلة . ويُظَنُّ أن اجمال حركات هذه النواة والحركات الإقليمية في المادة الموصلة هي في أساس الظواهر الملحوظة . وهكذا ، بصورة تدريجية ، تتخلق العناصر في مائية متحركة (Hydrodynamique) مغناطيسية (فصلٌ جديد مليء بالوعود) ، متأية من دراسة المغنطيسية الأرضية .

دراسة الحقل الإضافي - ان دراسة الحقل الإضافي الآن لم تترك مع ذلك . فاذا وضع جانباً القسم المنتظم من التغير ذي المنشأ الشمسي النهاري ، فإن التغيرات ، في مجملها ، ناشئة من سبب اولي هو دورات الشحنات الكهربائية في الاينوسفير [كرة التأين المغناطيسي] وحتى فيما هو أبعد منه . فعدا عن تأثيراتها المباشرة ، فهي [الدورات] تنشئ أيضاً تيارات محبونة فوق سطح الأرض . ان هذه التيارات الموصوفة بانها معدنية [تلورية] ، قد درست منذ زمن بعيد ، ولكن اهميتها ازدادت بخلاف هذه السنوات الأخيرة ، بمقدار ما تطور استعمال طرق الاستكشاف الكهربائي لغايات جيولوجية ومنجمية .

ان نظرية التغير النهاري قد تطورت تطوراً ضخماً ، بعد أخذ تيارات الفضاء الاعلى في الاعتبار ، والمسماة غالباً باسم « النافورات الاستوائية » . وتطرح المسألة بشكل مختلف بالنسبة إلى المناطق القطبية . وفي الحالة القصوى من حالات الموصاف المغنطيسية المعنية مباشرة هنا هي ظاهرات شمسية . ان هذه الموصاف هي امارات هذه الظاهرات التي يسميها علماء فيزياء الكواكب « الففزات » (sursauts) الشمسية من غلاف اللون (Chromosphériques) . وتدرس هذه الظاهرات أحسن فأحسن ، وخاصة في السنوات الأخيرة ، بواسطة أساليب « علم الفلك الراديوي » وباستخدام التلسكوبات الاشعاعية Radio-télescope المدخالية [المدخال آلة قياس بواسطة التداخل الضوئي interféromètre] (راجع دراسة ج . روش J. Rosch الفقرة V ، الفصل IV من هذا القسم) . ان الظاهرات المرصودة معقدة للغاية ، وهي تزداد تعقيداً كلما كانت وسائل الرصد متقدمة ، وكلما ازداد عدد الارصاد .

ان الاسحار القطبية هي مظهر من مظاهر بعض التفجرات الشمسية التي تبث اشعاعات ذات طبيعة جسيمية . وتصل الجسيمات الى قرب الأرض فتحيط بخطوط القوة من الحقل المغنطيسي الأرضي ، في جوار القطبين .

ان الارصاد المغنطيسية ربما شكلت القسم الاساسي من أبحاث مؤتمري « السنوات القطبية » اللذين عقدا سنة 1882 - 1883 وسنة 1932 - 1933 ، وربما شكلت القسم الاهم أيضاً في « السنة الجيوفيزيائية » الدولية ، هذا الانجاز الضخم الذي غطي السنوات 1957 - 1959 ، والذي ما تزال نتائجه غير مستثمرة بصورة كاملة ، بل وغير مجرودة . وبعض من هذه الارصاد قد

استكمل . وقد استعيدت بشكل عام ، من الجهتين ، في سنة 1964 التي توافقت مع حد أدنى من النشاط الشمسي ، وهي حملة مرتقبة سميت « حملة الشمس الهادئة » . أما حقبة السنة الجيوفيزيائية الدولية فقد توافقت مع حقبة ذات نشاط شمسي أقصى .

ادوات القياس المغناطيسي - لقد تمّ تحقيق انجازات ضخمة من حيث تصور الادوات من حيث انماط استخدامها . لقد انجز الدكتور لاقور La Cour ، من كورنهاغن ، حوالي سنة 1930 معدات أصبحت كلاسيكية ، وذات استعمال شائع ومنها : المقياس المغناطيسي الافقي الكوارتزي (Q. H. M) (quartz horizontal magnétometer) ؛ وميزان Z المغناطيسي أو (Balance magnétique) (que de Z: B. M. Z) ، وتعتبر نتائجها ممتازة ، وقد تم تحسين حساسيتهما خاصة بعد دراسة التغيرات في ركائزها الثابتة .

ولكن الاتجاه اليوم بشكل خاص يعمل نحو المقاييس المغناطيسية ذات الرجوع (Résonance) المغناطيسي النووي ، وخاصة المقاييس ذات البروتون .

ان نوى الذرات الموضوعة ضمن حقل مغناطيسي F ، ترى عزومها المغناطيسية تحتل مستويات طاقة تتطابق انتقالاتها مع تواترات تتناسب مع F . ان هذا التواتر هـ من عيار ألفي هرتز (2000 Hz) بالنسبة الى زخم في الحقل معادل لزخم حقل الأرض في فرنسا . وقد تحقق القياس بالنسبة إلى حقول ضعيفة بواسطة حيل ابتكرت سنة 1954 . ان قياساً للزخم المطلق داخل حقل ما يتحول هكذا إلى قياس للتواتر ، يمكن اليوم إجراؤه بدقة وبسرعة .

ان مثل هذا الاسلوب لا يعطي اية معلومات عن اتجاه الحقل ، ولكنه يمتاز بإمكانية نصبه على متن الطائرات ، من أجل أخذ مقاسات المغناطيسية الهوائية في مناطق واسعة ، أو فوق الأقاليم الصناعية من أجل القياسات المحكومة لاسلكياً في ارتفاعات تبلغ عدة عشرات من الاف الكيلومترات .

وقد تمّ أيضاً مباشرة دراسة الحقل المغناطيسي الأرضي في الماضي التاريخي (المغناطيسية التاريخية archéo magnétisme) وفي الماضي الجيولوجي (المغناطيسية في العصر الحجري الجديد Paléomagnétisme) .

وأتاح هذه البحوث زيادة معرفتنا ، بشكل محسوس ، حول الحقل المغناطيسي الأرضي (أ . تلييه E. Thellier الخ .) .

IV - علم الانواء أو الميترولوجيا ، وعلم الفلكيات الجوية

Aéronomie

ان علم الانواء (الميترولوجيا كفن التنبؤ بالطقس قبل عدة أيام أو عدة أسابيع من قبل) ، هو قديم قدم الإنسان . وحتى دخول القرن العشرين ، لم يكن بالإمكان الكلام عن « علم » بل جل ما في الأمر ، عن تجربة مكتسبة عقب ملاحظات أولية متعددة .

وفي السنوات الخمسين الاخيرة كثرت بآن واحد الاحتياجات ، من جراء تطور الطيران المذهل ، وكثرت الوسائل ، ومنها الرصد بواسطة الصواريخ ، واعمال السبر الكهرا شعاعي ، تجميع ونشر الارصاد والملاحظات ، بفضل تطور التلغراف اللاسلكي ، واستعمال النقل عبر المسجلات اللاسلكية (تلكس) .

ولكن يمكن القول إن الميترولوجيا كعلم للفضاء ما يزال في حالة بدائية . لا شك ان استعمال الاقمار الصناعية المسماة رصدية (من سلسلة تيروس Tiros) ، وتعميم الارصاد في المناطق القطبية في الشمال والجنوب لا يسمحان في مستقبل قريب من تحقيق انجازات محزنة في معرفة حركات الفضاء المحيط بها وسلوكه العام .

ان القياسات الطيفية (خاصة الليلية) تساعد ، في قسم كبير منها في الانجازات المحققة .

ان القوانين المتعلقة بحركات الفضاء (الحركات الكظمية (ثبوت الحرارة) والتوازن المائي الساكن (هيدروستاتيك) وتأثير الدوران الارضي ، وظواهرات الاختلال ، وحركات المواصف ، وقوانين الدوران العام ، والاضطرابات القطبية ، والانواء القضاية ، الخ .) هي موضوع دراسات متقدمة جداً . ان فيزياء الغيوم ، وعملية هطول الامطار والثلوج ، والصاعقة ، ودراسة المناخات الارضية ، الخ . هي ايضاً قد حققت تقدماً مهماً منذ خمسين سنة .

ان فصل التنبؤات الانوائية هو الفصل الاكثر شيوعاً لدى الجمهور ، ومن الاسراف الزعم بان هذا التنبؤ يتم بطرق يمكن ان توصف بانها علمية صرفة . ولكن هنا ايضاً تم تحقيق تقدم واسع بخلال هذه السنوات الاخيرة ، وان استعمال الآلات الالكترونية الحديثة يتيح الحصول على انجازات جديدة ، رغم انه لم يوجد حتى الآن ، وبالمعنى الصحيح ، معادلات كاملة تتيح تعريف وتحديد حقل تساوي الضغط ارتفاعاً .

٧ - علم المحيطات الفيزيائي

ان موضوع علم المحيطات الفيزيائي هو دراسة البنية الفيزيائية الكيميائية للوسط البحري وحيويته . هذا العلم اذا قرن بالجيوفيزياء [الفيزياء الارضية] لاعمق البحار فانه يلعب دوراً اساسياً بالفروع الاخرى من علم المحيطات (علم المحيطات البيولوجي وعلم المحيطات الجيولوجي) .

ان المعرفة الدقيقة لدرجة الحرارة والملوحة في مختلف الاعماق بقيت لمدة طويلة الوسيلة الوحيدة للوصول ، بواسطة معادلات الهيدروديناميك [السوائل المتحركة] ، الى تحديد اجمالي للدوران البحري .

وتستعمل بآن واحد ، في ايماننا ، اجهزة تتيح القياس المباشر للتيارات البحرية مما يؤدي الى تحديد ادق لبنية التيارات والى فهم افضل لنظامها قرب الشواطئ وفي المضائق .

ان حركية البحار تقتضي ايضاً دراسة الاضطراب السطحي ، والامواج العاتية والامواج ،

واضطراب الانواء وتيارات الانواء .

وكل النتائج هي ذات فائدة عملية حتى انها تؤدي الى تنبؤات بالظواهرات . والانواء التي تمكن دراستها بفضل الميكانيك السماوي وميكانيك السوائل تخضع لتنبؤات دقيقة جداً . ولا يمكن بلوغ دقة مماثلة بالنسبة إلى اضطراب البحر ، وبالنسبة إلى التيارات العامة لأن هذه الظواهرات تتعلق أساساً بتبادل الطاقة بين المحيط والفضاء ، بدلاً من ثبوته سوى صفة احصائية .

ان علم السمع تحت البحري ، ودراسة انتشار الاصوات عبر الوسط البحري ، له أهمية عسكرية كبرى (اكتشاف الغواصات خاصة) وكذلك دراسة شفافية المياه .

ان التطور الحالي للتقنيات ، وخاصة الالكترونيات ، يؤدي حالياً الى تجديد كامل للجهاز ولطرق الاستقصاء في علم المحيطات ، خاصة وقد تم صنع غواصات اعماق Bathyscaphes ، وهي اجهزة مستقلة للغطس ، تتيح لراكبين اثنين الوصول الى اعماق الجور المحيطية الاعمق (11000 م) وهي مزودة باجهزة تسجيل مختلف المعطيات الفيزيائية (راجع بهذا الشأن دراسة A. Tétty . الفقرة VIII الفصل III من القسم الرابع) .

ان غالبية البلدان التي تمتلك حدوداً بحرية نظمت مرافق مهمة للبحث المحيطي (الولايات المتحدة ، والاتحاد السوفياتي ، وبريطانيا ، واليابان ، وفرنسا ، والبلدان السكندنافية ، الخ) . ان جهود التعاون الدولية المبذولة في مختلف المجالات المتعلقة بالبحوث المحيطية بخلاف « السنة الجيوفيزيائية الدولية » تابع بفضل تنظيم بعثتين دوليتين كبيرتين ، لاستكشاف الاطلسي الاستوائي (1963) والمحيط الهندي (1963-1965) .

وان نحن وضعنا كمياداً ان مسألة ما لا يمكنها ان تأخذ سمعة العلمية الا انطلاقاً من اللحظة التي تم فيها وضعها « بشكل معادلة » ، فان علم الارصاد الجوية وعلم المحيطات ، لا يعتبران حتى الآن كعلوم كاملة .

ولكن اذا اعطينا الصفة العلمية هذه سنداً للدقة في الملاحظات والارصاد المحققة - خاصة ان ارتكزنا على استبعاد الاخطاء المنهجية في القياس - وسنداً للعناية المبذولة من اجل القضاء كل عشوائية هوائية في الاستنتاجات التي يمكن استخلاصها من هذه الملاحظات ، عندها يمكن اعتبار هذه الفروع من الجيوفيزياء ، كفروع علمية .

وربما كانت هذه الفروع من بين العلوم الاكثر جاذبية ومن بين الاكثر أهمية بين كل العلوم ، لانها تهتم بالاوساط التي نعيش فيها : المحيط وهو المهد لكل الكائنات الحية ، والقضاء الذي يمدنا بالحياة والذي يتحكم بوجودنا .

VI - التعاون الدولي

ان الجيوديزيا والجيوفيزياء هما علمان ، يبدو فيهما التعاون الدولي اساسياً ويرتدي طابعاً خاصاً جداً . وفي حين يترجم هذا التعاون ، قبل كل شيء بالاتصالات البشرية ، وبمقارنة النتائج

حيث لا يتدخل أي عنصر جغرافي في الجيوڊيزيا والجغرافيا ، كما في علم الفلك إنما بدرجة أقل ، تبدو القياسات الجارية في مختلف المناطق من العالم ، ضرورية ويجب جمعها ، وتنسيقها ، وجعلها متماسكة ، ثم بالتالي ، استخدامها من أجل تركيبات عامة .

ثم إن الجمعيات الدولية الأولى العلمية ، كانت جمعيات الجيوڊيزيا (التي انشئت سنة 1863 من قبل الجنرال البروسي بايهر Baeyer) وجمعيات السيسمولوجيا (حوالي 1903) وبعدها قامت جمعيات مماثلة بكثرة في كل المجالات العلمية . ولكن داخل المجلس الدولي للاتحادات العلمية ، يحتل الاتحاد الجيوڊيزي والجيوڤيزيائي الدولي (U. G. G. I) مركزاً مهماً جداً ؛ وهو فضلاً عن ذلك الاتحاد الذي اليه انتسبت غالبية الدول في العالم .

إن الاتحاد العام للجيوڊيزيا قد أثار سنة 1885 ، مسألة إنشاء لجنة دولية للأوزان والمقاييس ؛ واليها يعود الفضل في التوحيد القائم حالياً لوحدات القياسات وللانجازات الضخمة في كل فروع الفيزياء وقد أسس هذا الاتحاد في نفس الحقبة المرفق الدولي لخطوط الطول الذي كلف بالتتبع الدائم لتقلبات محور الدوران الأرضي . وأخيراً ، في سنة 1922 ، تشكل في روما الاتحاد الجيوڊيزي والجيوڤيزيائي الدولي الذي يضم سبعة اتحادات دولية تأسيسية هي : الجيوڊيزيا والغرافيمتريا ، علم الزلازل ، علم الأنواء والأرصاد وعلم الفلكيات الجوية ، المغناطيسية الأرضية ، علم المحيطات الفيزيائي ، علم البراكين ، علم المياه .

ومن بين نتائج هذا التعاون الدولي ، نذكر السنة الجيوڤيزيائية الدولية وحساب مجمل التلشيات و التسطیحات nivellements الأوروبية . إن هذا التعاون قد برز أيضاً ، بنشاط بالغ بخلال العمليات الجيوڤيزيائية من كل نوع المحققة فوق القارة القطبية الجنوبية . وقد انتقلت العدوى إلى المجال السياسي ، « ومعاهدة قارة القطب الجنوبي » (1961) التي تعترف بكامل جياية هذه القارة ، يمكن أن تعتبر كما لو كانت قبل كل شيء من صنع العلماء ولعل هذه السابقة تتبع فوق أراضٍ أخرى .

وهناك انجازات أخرى دولية يجري تنظيمها ولعلها تساعد بشكل كبير في معرفة أفضل لكرتنا الأرضية .

الفصل الثاني

العلوم التعدينية

يُنَا (في المجلد الثالث ، الفصل I من القسم الرابع) كيف تكونت العلوم التعدينية بصورة تدريجية بخلاف القرن التاسع عشر ، بفضل التطور المدهش في علم الفيزياء والكيمياء ، تطوراً تحفزه الحاجات المتعاظمة لصناعة في أوج الازدهار .

وفي القرن العشرين ، سوف تقفز العلوم التعدينية قفزة حقيقية ، بفضل معرفتنا التي تزداد عمقاً عن الحالة البلورية وعن بنية الذرة ، وسوف تستفيد هذه العلوم فعلاً من نتائج اكتشافات الأشعة السينية ، والنشاط الإشعاعي ، ومن تطور علم الديناميكا الحرارية ومن علم الطاقة .
Energétique

I - علم التبلر الجيومترى

تشتت الأشعة السينية بفعل البلورات - ان هذا الاكتشاف الاساسي قد اتاح الدخول الي بنية الحالة الجامدة من المادة . في سنة 1909 عُيِّن ماكس فون لو Max Von Laue (1879-1960) في جامعة ميونيخ . في سنة 1912 ، ولكي يجيب عن سؤال طرحه ب . أيوالد P. Ewald ، توصل الى اثبات التقارب بين تباعد السطوح الشبكية المغطاة بالذرات وبين الطول الضئيل جداً للموجة (من عيار 1 \AA) هذا الطول المعزوفرضياً الى اشعة ايكس X من قبل سومرفلد Sommerfeld . واعتقد ان بلورة ما يمكن ان تلعب تجاه اشعة X ، نفس الدور الذي تلعبه شبكة من خطوط تجاه الضوء : اي استحداث تداخلات وانتاج اطيف تشتت .

ونفذ مساعدان من المختبر هما فريدريك Freidrich وكنينغ Knipping التجارب بواسطة شفرة من البلند (ZnS) (blende) وضعها في مسار رزمة من اشعة X في محاولة لالتقاط الرزمة المنعكسة بفعل الشفرة المتبلرة . وبعد محاولات فاشلة ، نجحوا في التقاط - فوق صفيحة فوتوغرافية موضوعة وراء البلورة - الاشعة المنحرفة تحت زاوية صغيرة . وكانت البقعة المحددة بالأشعة المركزية محاطة ببقع مصفوفة بانتظام لتعكس بالتأكيد التوزيع المنتظم للمادة في الشبكة البلورية .

ان نظرية لور والتثبت منها تجريبياً عرفا في تموز سنة 1912 .

ان الفيزيائي وليم هـ . براغ William H. Bragg ، الذي كان يعتقد ان الأشعة لها خصائص الجزيئات المادية أكثر مما لها خصائص الموجات الكهرومغناطيسية ، لم يستطع تفسير صور « لو » نسبة الى نظريته . بالمقابل فسر ابنه و . لورنس براغ W. Lawrence Bragg الذي كان يرى اشعة X « كنضات » قصيرة جداً صادرة عن اشعاع كهرومغناطيسي ، بوضاوية بقع التشتت المحددة فوق صفحة موضوعة على مسافة معينة من البلور ، مبيناً ان هذه « النضات » لم تكن فقط مشتتة في بعض الاتجاهات ، كما افترضها لو Laue ، بل كانت معكوسة وفقاً لزواية السقوط « بفعل قشرات الذرات ضمن البلور ، كما لو كانت هذه القشرات مرايا » .

وبالارتكاز على الفرضية القائلة بأن المركبات المكعبة البسيطة مثل البلند Blende ، تتطابق مع تجميع تكعيبي كثيف من الذرات ذات الشكل الكروي ، شرح لماذا بعض هذه « المرايا الذرية » تعكس اشعة X أكثر من غيرها .

وكانت الهالوجينورات القلوية ، ذات البنية الأيسط من بنية البلند ، البلورات الأولى المحللة بواسطة اشعة X . وجرب ل . براغ فيما بعد تجربة انعكاس اشعة X فوق وجه شق من الميكا ، وجه مواز لطبقات ذات كثافة ذرية قوية ، والمخطط البياني الحاصل اتاح له اعطاء بنية شبه المعدن هذا .

وبدراسة الرزمة المعكوسة ، من ناحية التأين ومن ناحية الامتصاص ، اثبت وليام براغ ان الموجات المشتتة لها كل خصائص اشعة X . واتاح له مطيافه Spectromètre ذو الاشعة السينية ان يقيس زخم الرزمة المعكوسة في مختلف الاتجاهات . ولاعطاء تشتت محسوس ، يجب ان تلتقي اشعة X عائدة من السطوح الشبكية (ppp) تحت زاوية « تيتا » θ مرتبطة بطول موجة « لمبدا » λ بالمعادلة الاساسية ($n\lambda = 2d_{ppp} \sin \theta$) ؛ باعتبار d هي المسافة المتساوية بين السطوح ، وان θ (تيتا) هي تكملة زاوية السقوط وان n هو عدد صحيح .

وفي سنة 1913 بين وليام براغ ان كل معدن مستخدم في انابيب اشعة X كمصدر للاشعاع يعطي طيفاً لاشعة X يتميز بأطوال موجات محددة .

ومن جهة أخرى ، وبعد قياس الزوايا التي تشكلها الأوجه المتنوعة للبلورة والتي تعكس اشعة X وبعد قياس الزخم الذي يتم به هذا الانعكاس ، يمكن تحديد كيفية انتظام الذرات ضمن السطوح الموازية لهذه الأوجه . وبدت هذه التقنية خصبة جداً ، سواء بالنسبة إلى اشعة X ام بالنسبة الى علم البلور . من ذلك ان وجهاً بلورياً ، متتقى بشكل ملائم ، يتيح تحديد اطوال الموجة ، التي تميز اشعة X المتأينة من مختلف العناصر المعاملة كمصدر ؛ ان رزمة « نقية » من اشعة X أحادية اللون ، يمكن ان تتلقى بفعل الانعكاس فوق بلور ، وعندها يمكن قياس امتصاصها داخل مواد متنوعة .

ان هذا المجال قد اكتشف بشكل باهر من و . براغ الذي قاس اطوال موجة اطياف اشعة X

التي تولدها معادن متنوعة ، وحدد هويتها بواسطة الاشعاعات K و L المنسوبة الى ش . ج . باركلا C. G. Barkla سنة 1912 ، وحسب كمياتها الطاقوية وفقاً لقانون بلانك ؛ بين بان اقصر أطوال الموجة (K و K α) ، بالنسبة الى العناصر المتنوعة هي ، بصورة تقريبية ، متناسبة عكسياً مع مربع الوزن الذري ، وقرر بالتالي اسس علم المطيافية بالنسبة الى الاشعة السينية ، التي طورت فيما بعد على يد ه . موزلي H. Moseley (1913-1914) وعلى يد م . سيغباهن M. Siegbahn (1919) .

وفي نفس الوقت ، قام ل . براغ بدراسة منهجية للبنية الذرية في البلورات : الهالوجينور القلوية ، والماس ، والفلورين ، والكوبريت ، والبلند ، وبيريت الحديد ، ونيترات الصودا ، والكالسيت .

وقطعت حرب سنة 1914 ، بصورة مؤقتة ، بحوث و . ول . براغ ، ولكن في تلك الحقبة ، تحقق تقدم كبير ، بفضل الطريقة المسماة طريقة « المساحيق » ، وقد طورها ديبيه Debye وشيرر Scherrer في زوريخ سنة 1916 ، وهول Hull في الولايات المتحدة سنة 1917 .

في هذه الطريقة ، تُسقط أشعة X على كمية صغيرة من المسحوق البلوري موضع الدراسة ، المجمع بواسطة مادة لا شكل أو اثر لها فوق قضيب من الزجاج . هنا وهناك ، تمتلك بعض الجزيئات سطحاً من سطوحها متجهاً بشكل يجعل معادلة براغ ($n\lambda = 2d \sin\theta$) عاملة محققة ، واما اشعة X فتنعكس بمقدار زاوية 2θ . ان الجزيئات المتجهة بهذا الشكل تشتت اشعتها بشكل مخروط . وتعطي الجزيئات الاخرى مخروطات اخرى ، ومجموع هذه المخروطات المتواكبة يشكل سلسلة من الهالات Halos ترى بواسطة فيلم حساس مركز في غرفة اسطوانية . وكل خط فوق الخط البياني (ديا غرام) الحاصل بهذا الشكل يتطابق مع نمط خاص من التشتت ، ويُعلم عن طبيعة المادة . وكل نمط من المادة البلورية يعطي نظاماً من الخطوط مميزاً . ان هذه الطريقة مستخدمة عالمياً الآن ، من أجل تحديد وتعريف الأنواع شبه المعدنية . ان المراجع المتكونة لهذا الهدف مرعية بشكل دولي .

منذ سنة 1914 ، جمع عدد ضخم من المعطيات حول البنية الذرية لمواد من شتى الأنواع ، المعقدة في اغلب الاحيان ، من قبل علماء كثر من بينهم و . هـ و . ل . براغ في انكلترا ، وش . موغوين C. Mauguin في فرنسا ، وايبولد Ewald وشيبولد Schiebold في ألمانيا ، ول . بولنغ L. Pauling وايبكوف Wyckoff في الولايات المتحدة ، وآ . ف . يوفي A. F. Ioffe وشوبنيكوف Choubnikov في الاتحاد السوفياتي ، الخ .

ان العالم في البلور le Cristallographe اصبح في متناوله الآن منهجية تحليل ذات قوة لا تضاهي تتيح له ان يحدد أبعاد الزردة la maille بالمقدار المطلق ، كما تتيح له تحديد ترتيب الذرات في الباعث البلوري الذي تحتويه . وانه مدعوم في مهمته بنظرية البنية التي جاء بها شونفليس - فيدوروف Schoenflies-Fedorov التي تعرف 230 نمطاً من توزيع عناصر التناظر : مجموعات التناظر أو المجموعات الفضائية (مجلد III ، الفقرة II ، القسم الرابع) ولكن يجب تكيف

هذه النظرية لتتلاءم مع الاحتياجات ثم تثبت جدولها . وهناك ترميزية جديدة ، وضعها ش . موغوين C. Mauguin ، اعتمدت دولياً سنة 1930 (ترميزية موغوين - هرمان Mauguin-Hermann) ثم وضحت سنة 1935 .

ان هذه الاعمال حول البنية تعالج البلور وكأنه وسط منسجم ، وممتد الى ما لا يحد ، ولكن من المعروف ان هذا الوسط يظهر في اغلب الاحيان بشكل مجسّمات « متعددة الجوانب » Polyèdres .

قبل استعمال اشعة X ، لم يستطع العلماء ان يكشفوا عن بنية البلورات الا بعد الدراسة الدقيقة لاشكالها الجيومترية ولخصائص وجوها .

وفي معالجة رائعة « حول البلور » ، بين أ . فيدوروف E. Fedorov كيف يمكن التعرف على هوية غالبية المواد المتبلرة . ولكن عمله ربما كان مشوباً ، بأن واحد ، بعيب احتواء مشكلتي البنية والتعريف . ووقف ت . ف . باركر T.V. Barker سنة 1930 ، عند هذه النقطة الأخيرة [التعريف] فوضع مبادئ منهجية حاول العديد من الباحثين ان يستكملوها .

لم يقلل استعمال اشعة X من اهتمام الدراسات المورفولوجية (الشكلية) التي تتدخل بشكل مجدي في وصف الانواع والتي تقدم للمصورين بالاشعة البلورية معلومات ثمينة حول طبقة التناظر .

التصوير الشعاعي البلوري Radio-Cristallographie - يهدف هذا العلم الى دراسة البنيات البلورية بواسطة اشعة X . وهو اذ يتيح تحديد ترتيب الذرات في « الباعث البلوري » الذي يولد تكراره البلور ، فقد فتح حقلاً بحثاً غير متوقع ، ودفع بمعارفنا حول تكوين المادة إلى الامام .

الا ان التحليل المعمق لبنية بلورية هو مهمة معقدة وصعبة . ولا يقاس بهذا الشأن الا زخم الرزمات المشوثة التي ترصد ؛ من هذه القيمة يمكن ان نستخلص قيمة الاتساع انما لا يستخلص طور الرزمة المدروسة . ولا يمكن اذاً - وبدون وضع فرضيات حول البنية - الرجوع الى الخط البياني X ذي احدائيات الذرات . يقول و . ل . براغ : « ان تحليل بلورة ما كأنه حل للكلمات المتقاطعة الصعبة » .

وسار تحديد البنيات البلورية شوطاً بعيداً ، بفضل استعمال سلاسل فورييه Fourier واستعمال « عامل البنية » ، وكلهما يتيح التعبير عن العلاقة بين توزيع المادة داخل البلور وتشتت اشعة X الذي يحدثه هذا التوزيع ، ثم الحصول على قيم الكثافة الالكترونية الوسطى في كل نقطة داخل « الباعث البلوري » . ان هذه الحسابات الطويلة جداً ، اصبحت اليوم مُسهلة باستعمال الآلات (آ . ج . روز A. J. Rose 1948) التي تتيح الحصول على اسقاط الكثافات الالكترونية على السطوح المهمة في الشبكة البلورية المدروسة .

ان مبدأ الاجهزة التي تقارن والتي تتيح تصوير وتمثيل البنية هو مختلف تماماً . انطلق و . ل . براغ (1939, 1944) من المماثلة بين تشتت الضوء بفعل الشبكات وتشتت اشعة X بفعل

البلورات ، فوضع جهازاً سمي « عين الذبابة » ، يتيح ، عن طريق الاساليب الابصارية ، ان يتنبأ بشكل الخط البياني X انطلاقاً من تصوير مسطح للبيئة . نذكر ايضاً المصور - المختصر (Photo sommateur) المنسجم الذي وضعه ج . فون الر (G. Von Eller) (1953) .

ورغم هذه الانجازات ، بقي تحديد بنية معقدة عملية طويلة ودقيقة . ان دراسة بعض المسائل تقتضي اللجوء الى طرق اخرى ، وخاصة الى اطراف تشتت الالكترونات .

ان المفاعيل الحاصلة ، هي نظرياً متماثلة مع المفاعيل التي تحدثها اشعة X ، ولكن الالكترونات لا تستطيع قطع غير سماكات مواد من عيار 2 الى $5 \cdot 10^{-4}$ مم .

ان هذه الطريقة التي لا تقتضي الاكميات من المادة ، صغيرة للغاية ، والا ازمة استراحة قصيرة ، تطبق على حل مسائل مثل بنية الجزيئات الغازية ، ودراسة الطبقات السطحية (دافيسون Davisson وجرمر Germer ، وج . ب طومسون Thomson ، 1930 ؛ وس . كيكوشي ، 1933 وج . ج . تريلات Trillat ، 1932 ؛ وج . امينوف Aminoff وب . برومي Broomé ، 1934-1933) .

فضلاً عن ذلك اتاح الميكروسكوب الالكتروني فصل نقطتين تبعدان عن بعضهما بما يعادل 20 الى 30 أنغستروم كما توصل الى تكبيرات تزيد على ثمانين الف مرة (ج . دويوي Dupouy ، 1961) .

ان الجمع بين تقنيات الميكروسكوب الالكتروني وتشتت الالكترونات قد اتاح بلوغ تفصيلات شكلية (مورفولوجية) في البلورات غير المرئية بواسطة اكبر المكبرات الميكروسكوبية الابصارية ، واتاح تحديد طبيعة بنيتها . ان تشتت الترونات ، الذي اتاح رؤية الذرات الخفيفة ، وتوضيح البنيات المغناطيسية ، قد استعمل ايضاً بكثرة في التصوير الاشعاعي البلوري . وقد تم تحديد العديد من بنيات البلورات الطبيعية والاصطناعية . وكل سنة ترى ولادة بنيات جديدة .

بنات الأجسام التي لا شكل لها amorphes من الزجاج ومن السوائل - ان هذه الأجسام لا تمتلك الدورية البعيدة المدى مثل البلور ، ولكنها تحتفظ بنوع من الترتيب ذي المدى القصير ، في العناصر التي تكونها .

ان الخطوط البيانية X في الجوامد المسماة « بدون شكل amorphes » ومثلها الخطوط البيانية X في السوائل ذات التجمع الجزيئي ، وحتى خطوط السوائل الحقة - المتكونة من ذرات كروية (الصوديوم المذاب) أو من جزيئات كروية (كلورور الكربون) - تظهر حلقات مائعة تكشف عن ترتيب قصير المدى .

ويمكن القول ان الزجاجات التي هي سوائل ذات تجمع جزيئي « مثبتة » تعطي خطوطاً بيانية مماثلة .

ومنذ سنة 1961 ، تصدى ديبه Debye وشيرر Scherrer بواسطة اشعة X ، لتحليل البنية

المفككة في السوائل . ودرس برنال وفولر سنة 1933 ، الحالة الخاصة ، حالة الماء التي كان ستيوارت قد عالجها سنة 1931 .

ودلت الخطوط البيانية الحاصلة على تصور الماء كسائل شبه بلوري مكون من مجالات صغيرة في داخلها تصطف الجزيئات بشكل مجموعة مثنى الوجوه (Tétrédriques) شبه منتظمة (ر . ك . إيفانس 1954, R. C. Evans) ، ويبدو ان هذه البنية للماء تلعب دوراً ضخماً في هندسة العديد من الجزيئات شبه المعدنية والعضوية .

الحالات التشاكلية الوسطية Mésomorphes - لقد اشار ج . فريدل (1922) G. Friedel بهذا الاسم الى حالة في المادة وسط بين حالة الاشكال وحالة التبلر ، حيث تتوجد بعض الفواد العضوية المسماة سابقاً باسم « البلور السائل » (ر . ليمان 1889, O. Lehmann) .

وميز فريدل بين حالتين : أولاً - الاجسام الخيطية ، السائلة عادة ، اللامتناحية anisotropes ، بالفطرة ، ولكنها لا تمتلك الخصائص السهمية المتقطعة ؛ ثانياً - الاجسام الخزفية وفيها تظهر هذه الخصائص باتجاه سطح وحيد ، هي أيضاً لا متناهية بالفطرة .

ان هذه الاجسام تنتمي الى السلسلة الزيتوية (الحوامض الشحمية والصابون القلوي ، المشتق من الحامض الزيتي) والسلسلة الدورية . ان مشتقات الكولسترين تقرب من المواد الخيطية . ويعرف اليوم ما يقارب من ثلاثة الاف جسم تشاكلي وسطي . ان كلاً منها يولد جملة من البنيات المتنوعة : شفرات مزدوجة الحد متجانسة ، وشفرات لولبية ، شفرات مستنة ، بنية ذات خيوط ، وذات مخروطات بؤرية ، الخ .

لقد درست هذه المواد من قبل غاترممان Gattermann سنة 1990 وفورلاندر Vorlander سنة 1918 ، وتلامذته شنك Schenck وج . فريدل G. Friedel وف . غرانجان وش . موغوين Ch. Mauguin وب . شاتلان P. Chatelain . نذكر ايضاً اعمال ف . واليران F. Wallerant وب . غوبرت P. Goubert ، وتلامذة مدرسة اوونشتين Ornestein في هولندا ، وتلامذة مدرسة فريدريكز Freedericksz في الاتحاد السوفياتي . في سنة 1931 ، خصصت مجلة « زيتشرفنت فوركريستلوجرافيا » « Zeitschrift Fur Kristallographie » اكثر من نصف مجلد للادب الغزير حول هذا الموضوع ، وهو ادب قد تضخم بعد ذلك واعتنى . نذكر فقط ان بنية الاجسام التشاكلية الوسطية قد درست بواسطة اشعة X من قبل م . دي بروغلي وأ . فريدل (1923-1925) Friedel ومن قبل ك . هرمان Herrmann (1935) وج فالغيريت J. Falgueirettes (1959) ، الخ . ان اساليب التجمعات الجزيئية التي تميز المراحل التشاكلية الوسطية تلعب حقاً دوراً مهماً في جملة تفاعلات بيولوجية .

العمارات البلورية المعقدة - لقد وضعت نظرية عامة حول مادة الشياستوليت سنة 1904 من قبل ج . فريدل . وقام العديد من علماء المعادن ، ومنهم ج . دروغمان J. Drugman وب . غوبرت P. Gaubert وآ . شونيكوف A. Choubnikov بدراسة هذه العمارات بعد ذلك .

ان العمارات المشاكهة mimétiques تتكون من شياستوليئات متعددة ودقيقة جداً ، ومن بلورات من نفس النوع ، مرتبة بشكل يكون فيه تناظر المجموع اعلى من تناظر الافراد المكونة للمجموع . ودراسة هذه العمارات بدأت في القرن التاسع عشر من قبل برونز Brauns ومالار Mallard واستعيدت من قبل ر . هوكارت R. Hocart سنة 1934 بدمج استعمال الطرق الابصارية واشعة X .

واعطى ل . روييه L. Royer سنة 1928 اسم « تقيل » (Epitaxie) لظاهرة التوجيه المتبادل في البلورات من انواع مختلفة . وقد اشير إلى حالات كثيرة منها في القرن التاسع عشر ، واعطى ف . والرانت F. Wallerant عنها مراجعة كاملة سنة 1909 . ودرس پ . غويرت P. Gaubert سنة 1924 وج . و . غرونر G. W. Gruner سنة 1929 أيضاً بعض مظاهر هذه الظاهرة . وبين ل . روييه ان هذه البلورات تتلاقق دائماً بواسطة سطوح شبكية ذات زردات من نفس الحجم تقريباً ، مع الاخذ في الاعتبار بعض الشروط الاخرى ، وقد اعطى سنة 1954 عرضاً اجمالياً لهذه المسألة .

وذكر ج . ديشا G. Deicha سنة 1946 اهمية الاشباع المكثف في المحلول عند تحقيق التقيل وادخل مفهوم « اللاتوازن البلوري التوالدي » . واتاحت أعمال حديثة ربط تشكل الشياستوليت والمجموعات الثقيلة بنظرية النمو البلوري .

البلورات المختلفة ؛ المحاليل الجامدة - اقترح ج . فريدل سنة 1926 اعتبار التبلر المتزامن الذي بدأ ميتشرليخ Mitscherlich بدراسته في القرن التاسع عشر ، كمظهر جديد لظواهر الشياستوليت والاتجاهات المتبادلة في الانواع المختلفة . وقد اوضح الفكرة التي عبر عنها ج . تشرماك G. Tshermak سنة 1884 ومفادها « ان الخلط المتشاكلة تفسر تماماً اذا اعتبرناها كمجموعات متوازنة حميمة » .

ودلت الخطوط البيانية لاشعة X انه ليتم العثور على بنية دورية في هذه البلورات ، يتوجب ان تكون الانواع المكونة ذات زردة مزدوجة بسيطة مشتركة ذات تقريب من عيار تقريبي يتراوح من 6 إلى 11% وان يكون توزيع الزردات التي يحل بعضها محل بعض منتظماً .

وإذا كان هذا التوزيع احصائياً فقط ، فان البلور يكون محلاً لضغوطات تحدث في الشبكة تمزقات غير منتظمة ، أو تولد شبكة وسيطة بين شبكات المكونات . ان دراسة بنية الخلط (و . ل . براغ 1933 ؛ و . هيوم - روذري Hume - Rothery 1931 - 1935) ، قدمت حول هذه البدائل من الذرات نتائج ذات فائدة كبيرة ، مؤدية بشكل خاص ، الى مفهوم البنية الفوقية التي تعبر عن التغير في الدورية الاولى ، داخل أحد المكونات . ولكن هذه البنية لا تتحقق أحياناً الا مكانياً ، وداخل جزائر متعددة متناثرة لا تتحقق بفعل أشعة X (خلط الحديد والالومنيوم ، الخ) .

ان علميات الصهر أو الصقل (المسفاية) والتحمية لها تأثير كبير على هذه التغيرات في البنية ، مما يفسر الخصائص الفيزيائية الخاصة التي تمنحها للخلط .

II - الكريستالوغرافيا الفيزيائية « علم التبلر الفيزيائي »

ان ضخامة تنوع الاشكال البلورية التي ترتديها اشياء المعادن تدل على تأثير الظروف الخارجية للتبلر على انتاج الواجه ودراسة هذه الشروط ترتدي أهمية كبيرة من ناحية التبلر *Cristallographique* ومن ناحية التعدين . ومن الناحية الصناعية أيضاً ، من أجل توجيه التبلر نحو الانتاج : اما انتاج ترسب تشتي واما انتاج بلورات كبيرة كاملة مثل الجرمانيوم (للترانزيستور) ، وبلورات كهر إجهادية *Piézo - électrique* وحديد - كهربائية ، أو بلورات للابصار تحت الاحمر وفوق البنفسجي ، الخ .

تنامي وتناقص البلورات - ان الدراسات الاولى المنهجية حول التبلر تعود إلى القرن التاسع عشر ، ومنها دراسة ن . لبلان *N. Leblanc* (1802) وف . م بودانت *F. S. Beudant* (1818) ، ودراسة ل . باستور *L. Pasteur* الذي حصل على نتائج مهمة حول تنامي البلورات ، وتمييز البلورات المبتورة وحول تغير أشكالها الثانوية .

ولكن أعمال ج . تامان *G. Tammann* وتلاميذه (*Die Aggregats Zustände 1922, Kristal-liseren und Schmelzen 1903*) تدل على حقبة أساسية . هناك معطيان تجريبيان مهمان ثابتان فيها وهما : القدرة الحبيبية *germinatif* ، التي تحدد شروط ظهور البذرات البلورية ، ثم سرعة نمو هذه البذرات .

ان البذرات لا تتشكل الا انطلاقاً من اللحظة التي تحصل فيها درجة معينة من الاشباع المفرط أو من الذوبان الفوقي ويوجد ، بحسب رأي أوستولد *Ostwald* ، منطقة ما بعد استقرارية *metastable* وفيها لا يبدأ التبلر الا بعد زمن يطول أو يقصر . والشواذب الحاضرة في المكان تؤثر كثيراً في ظهور البذرات والمحللوق فوق المشبع يمكن هكذا ان يستقر . ان المسألة النظرية حول « البذرة الحساسة » قد درست من قبل ج . و . جيبس *J. W. Gibbs* ثم من قبل م . فولمر *M. Volmer* سنة 1939 ، ومن قبل آ . ويدر *A. Weber* سنة 1926 ، ور . بيكر *R. Becker* وو . دورنغ *W. Doring* سنة 1935 .

ورأى پ . كوري *P. Curie* (1885) النمو البلوري كظاهرة شعرية : هناك كتلة متبلرة ، تنزع ، كالمائل ، الى اتخاذ شكل يتوافق مع الحد الأدنى من الطاقة السطحية . اما بالنسبة للأجسام اللامتناحية فان هذه الطاقة يجب ان تمثل اقلية دنيا مركزة وفقاً لبعض التصميم ، ومطلق بلور يجب ان ينزع إذا إلى ان يتحدد بوجه مسطحة .

وطورج . وولف *G. Wulff* هذه الفكرة سنة 1901 فصاغ أول نظرية حول النمو . ان البلور المغطس في محلول ذي تركيز معين يمتلك في كل اتجاه سرعة تمام خاصة ، تتناسب مع الثابت الشعري في الوجه العاصودي على هذا الاتجاه . ولكن ج . فريدل *G. Friedel* بين ان كون هذه السرعات هي كلها ذات إشارة واحدة ، يتناقض مع فرضية كوري *Curie* التي تقول بان البلور ، بحالة المحلول المشبع ، ينزع نحو شكل توازني .

ومع اعتبار تيارات الحمل Convection وسرعة انتشار المصيح في المحلول ، استطاع فريدل Friedel سنة 1926 أن يفسر الخصوصيات التشكيلية (المورفولوجية) في البلور ، بل وحتى ، في بعض الأحيان تشكل فراغات محدودة بوجوه مسطحة (البلورات السلبية) .

وبواسطة تقنيات قياس التداخل ، قاس ك . و . بون C. W. Bunn (1949) . وو . ف . برغ W. F. Berg (1938) وهمفريز - أوين Humphreys - Owen (1949) وس . غولدستوب S. Gauldsztaub ور . كرن R. Kern (1953) سرعة النمو والتركيز فوق سطح بلور في حالة النمو ، ولكن ظهرت اختلافات بين النتائج الحاصلة .

ان غالبية النظريات المتعلقة باولية النمو تفترض ان الجزئيات الآتية من مرحلة فوق التشبع (محلول أو بخار) تتجسد مع الجامد في المكان الذي تضربه فيه . وقد أثبت ل . كوارسكي L. Kowarski (1935) ، على الأقل في حالة التشكل بواسطة التبخر - التسامي ، ان هذه الفرضية لا تتجانس مع النمو التناظري التام ومع الاحتفاظ بالاشكال المنحنية . ان هذه الظواهر ، يمكن بالمقابل ان تفسر مع الافتراض مع م . فولمر (1926) ان الجزئيات المتكثفة ، هي بخلال بعض الوقت ، متحركة عند سطح البلور بشكل فيلم متتابع من بذور ذات بعدين ، يتعلق تشكله باعتباريات طاقوية سطحية وطاقوية جوانبية ، وقد طور و . كوسل W. Kossel وي . سترانسكي I. Stranski (1927 - 1930) نظرية قريبة ، مؤسسة على مفاهيم طاقوية أكثر قرباً . وقادت هذه البحوث إلى رسميات تذكر بمفهوم قشرة «الجزئيات التكاملية» التي قال بها هاوي Hauy ، بعد اغنائها بمعطيات عصرية من التبليد البنيوي .

وبحسب قانون برافي Bravais ، ان السرعة الاعتيادية لنمو الوجوه هي نسبة عكسية مع الكثافة الشبكية ، والوجوه الاقل كثافة تزول كلما ازداد النمو . ولكن پ . نيجلي B. Niggli (1919) ول . د . هـ . دوناي L. H. Donnay ود . هاركر D. Harker (1937) بينوا انه لا يتوجب استخلاص الكثافات الشبكية فقط من شبكات برافي Bravais وانه يتوجب أيضاً النظر إلى مجموعات التغطية .

هارتمان P. Hartman (1953) وو . ج . پردوك W. G. Perdok (1952) حاولا الحصول على تجانس افضل بين الاشكال المذكورة والمرصودة بادخال مفاهيم طاقة السطح والاتصال في البلور ؛ وفي سنة 1947 بين م . ج . برجر M. J. Buerger أنه في تقريب أول ، تكون الطاقة في السطح متناسبة عكساً مع الكثافة الشبكية . ان القيمة النسبية لسرعات النمو بالنسبة الى الواجهة المختلفة قد درست من قبل ارتيمييف سنة 1910 ومن قبل ك . سبانجنبرغ K. Spangenberg وو . كوسل W. Kossel .

ان ذوبان الاشكال المقعرة (أو التناقص) في البلورات قد وُلد بحوثاً مهمة قام بها ج . فريدل G. Friedel وك . سبانجنبرغ وآ . نوهوس Neuhaus . واكد هـ . هيمل H. Himmel وو . كليبر W. Kleber (1934) على الترابط الوثيق الموجود بين نمو الاشكال المحدبة وإنتاج الاشكال المقعرة بفعل الذوبان . ودرس هـ . ي . بوكلي H. E. Buckley وج . ديشا G. Deicha ، الخ .

شوائب التبلر الميكروسكوبية (البلورات السليبية) في البلورات ، وعلاقتها بمتوال تزايد هذه البلورات . وبين ل . رويه L. Royer (1930) انه في سائل متمائل ناشط ، بالامكان اظهار صور حث غير متناظرة ، بدون علاقة مع تناظرية البلور : ان عناصر التناظر الوحيدة التي تعود الى الشكل الخارجي هي اذن العناصر المشتركة بين البلور والوسط (ج . فريدل G. Friedel ور . ويل 1930 R. Weil) . ان صور اجتفاف البلورات قد درست من قبل ك . غودفروا C. Gaudefroy (1919) .

تغير السمة أو الهيئة - لفت ب . غوبرت P. Gaubert وآ . جوهنسن (1900) A. Johnsen ، وآ . شوبنيكوف A. Choubnikov (1914) ، الانتباه إلى تأثير الاشباع القوي ، ووجود الشوائب في تغيرات وجه البلور .

كما درس آ . ف . ولس A. F. Wells (1946) تأثير المذيب ، ودرس ب . غوبرت (1895 حتى 1925) ثم ه . ي . بوكلي H. E. Buckley ول . رويه L. Royer تأثير المواد الغريبة المارة بانتظام في البلور في حالة التشكل .

وعشر على نمط جديد من البنية ، لحظه آ . ميشال - ليفي A. Michel - Lévy (1893) في الكالسيدونيت ، الاستدارات الحلزونية ، في العديد من المواد العضوية . وبين ف . والرنت F. Wallerant التأثير الحاسم للأجسام المزودة بقدرة دورانية ، على تشكيلها .

ان مفاعيل الاشباع المكثف للمحاليل - الام على تشكل البلور المنشعب (الشياشوليت) المتنامي قد درسهام . ج . برجر M. J. Buerger (1945) وج . ديشا G. Deicha (1943 - 1949) . وقدم ر . كرن R. Kern (1953 - 1961) ايضاحات من الناحية الجيومترية والطاقوية ؛ ان مفهومه حول « شرط تجاوز التوازن » قريب من مفهوم اعم ، هو مفهوم درجة « اللاتوازن البلوري » الذي قال به ديشا Deicha (1946) .

الشوائب البلورية - في مطلع القرن العشرين ، ارتكزت دراسة الخصائص الفيزيائية للبلورات على فرضية وسط بلوري كامل ، اي دوري بشكل دقيق . ولكن عندما اتاحت نظرية البنية والتحليل بأشعة X ، حساب الخصائص المتنوعة للبلور ، الميكانيكية ، والحرارية ، والكهربائية والمغناطيسية ، ظهرت تناقضات عميقة . من ذلك ان مقاومة ملح المناجم للكسر هي 200 مرة أقل من المقاومة المحسوبة سندا للبنية (آ . يوفي ، 1934 A. Ioffé) . وقد توجب النظر إلى « بلور حقيقي » مختلف عن « البلور المثالي » .

وباكامل فرضية آ . آ . غريفيث Griffith وو . هـ . براغ (1935) حول وجود شقوق غير ملحوظة في البناء البلوري نظراً لقصور التقنيات في ذلك العصر ، اقترح آ . سميكال A. Smekal في سنة 1934 فكرة بنية فيفسائية للكلل صغيرة (من عيار 100 أنغستروم) محدودة بشفرات صغيرة جداً حول أصلها كثرت الفرضيات من قبل ف . زويكي Zwicky (1929) وي . اوروان E. Orwan (1934) وم . ج . بورجر M. J. Buerger (1934) . كما ان ش . ج . داروين Ch. G. Darwin فسر مفاعيل الانطفاء الملحوظ في انعكاس أشعة X فوق سطح البلورات التي تبدو ظاهرياً كاملة بفعل وجود العديد من السطوح الصغيرة ، التي يوجد فيما بينها فروقات في الاتجاه خفيفة .

ان دراسة الشوائب البلورية أصبحت فصلاً مهماً في علم البلوريات وفي فيزياء الجوامد ، لان هذه الشوائب (الكترولونات حرة وثقوب ، وحوافز (Excitons) ، واماكين شبكية ، وفراغات ، وذرات ثقوبية ، وذرات غريبة دخيلة أو بديلة في الشبكة ، وتمزقات) تتحكم بالعديد من الخصائص .

ان الدراسات حول التمزقات ، الكثيرة العدد منذ عدة سنوات ، قد وضحت مفهوم « البنيات الفيسفائية » وقدمت معطيات مهمة حول الخصائص اللدائية في المعادن وفي النمو البلوري .

ان نظرية النمو الحلزوني (ف . ك . فرانك 1949) تعتبر انجازاً أساسياً حين أتاحت بيان حقيقة التمزقات ، والثبت من خصائصها الأساسية ، وفهماً أفضل لآلية النمو البلوري . وقد أغنى هذا المجال المهم بالعديد من الملاحظات الجديدة كل من و . شوكلي W. Shockley و . ت . ريد W. T. Read (1950 - 1953) وف . سيتز F. Seitz (1952) ون . كابريرا N. Cabrera (1953) و . ديكيسر W. Dekeyser وس . اميلنكس S. Amelinks (1955) وج . نومارسكي G. Nomarski وآ . ر . ويل A. R. Weill (1954 - 1959) .

الحالة التفككية المتدركة *métamict* - ندل بهذا الاسم على حالة الفوضى البنيوية المحدثة في الشبكة البلورية في شبه معدن يحتوي على عناصر مشعة ناشطة بفعل تفكك العناصر اثناء الحقب الجيولوجية .

واشار بروغر Brogger سنة 1893 ، بهذا الاسم إلى المواد البلورية التي اكتسبت خصائص المواد اللامبلرة . ولاحظ دي كلوازو des Cloizeaux ودامور Damour ثم و . مוגج O. Mugge ان هذه الاشياء المعدنية تصبح مزدوجة الانكسار الاشعاعي تحت تأثير الحرارة .

على اثر الملاحظات الموضوعية حول العلاقات بين النشاط الاشعاعي والهالات متعددة الالوان *pléochroïques* (أ . روزرفورد 1908, E. Rutherford) اقترح آ . همبرغ A. Hamberg سنة 1914 ان عملية التدرّك ربما تعزى الى اشعاعات العناصر المشعة الموجودة في أشباه المعادن هذه . وابرز ف . م . غولد شميدت V. M. Goldschmidt (1924) ثم ف . ماشاتشكي (1941) Machatschki تأثير طبيعة القوى المتواصلة التي يجب أن تكون ضعيفة التآين . وأقر ف . سيتز Seitz (1949) نظرية الظاهرة مرتكزاً على مفعول الاشعاعات الجسيمية المنعشة عن المسرعات او عن المفاعلات النووية على بنية الجوامد . واستخدم پ . پلاس P. Pellas سنة 1954 هذه النظرية ليدرس تشكل الحالة التدرّكية في عدد من اشياء المعادن ولاحظ ل . فيغار L. Vegard (1916) وه . بيد H. Pied وج . اورسل J. Orsel (1926) غياب طيف التثنت X في كثير من اشياء المعادن الفوضوية .

وبذات الوقت ، كان كتاب مختلفون يدرسون ظاهرة إعادة التبلر تحت تأثير الحرارة ، باستخدام التحليل الحراري التفاضلي . ونشطت هذه البحوث في الوقت الحاضر في فرنسا خاصة بفضل ج . اورسل J. Orsel ود . فوكيه D. Fauquier منذ 1952 .

ان دراسة اشباه المعادن الفوضوية يمكن ان تعطي معلومات مهمة حول عمر الصخور التي تحتويها (هـ . د . هولاند Holland ول . ج . كولب L.J. Kulp 1950 ؛ ول . أ . فولشوك L. A. Volchok ؛ ريلاس) . فضلاً عن ذلك تقدم الملاحظات المقدمة حول البلورات الطبيعية الفوضوية ، اذا فورت بالملاحظات التي تقدمها دراسة حالة التدرّك الاصطناعي (هـ . بروكس 1956, H. Brooks) ، تقدم للفيزيائيين وللمهندسين الذريين ، مؤشرات مفيدة حول التقهقر الحاصل بتأثير اشعاعات الطاقة الكبرى من قبل بعض المعدات المستعملة في بناء المفاعلات النووية ، وتساعد على تحديد شروط « شفافها » .

الخصائص الابصارية في اشباه المعادن - اذا كانت المكتسبات الاسامية المتعلقة بالابصارية في البلورات قد حدثت بصورة رئيسية بخلال القرن التاسع عشر ، فان الانجازات المحققة بعد ذلك هي جديرة بالملاحظة .

فقد حصلت تحسينات مهمة في التقنيات الاجرائية ، وفي بناء ركائز الميكروسكوبات والشبقيات ذات القوة العظمى ، كما اتاحت استخداماً أفضل للمعطيات النظرية والتوصل إلى دقة عظمى في تحديد السمات الابصارية في البلورات .

ان خصائص البلور الشفاف كانت موضوع أعمال كثيرة وقياسات عديدة للثوابت الابصارية . وعارود پ . سيف P. Sève (1920) وك . غودفروا Gaudefroy (1924) دراسة تشتت ازدواجية الشفافية في البلور ، وصنف غودفروا مختلف انماط سلالم الانوان ، ويّين اية تطبيقات ممكنة من اجل دراسة اشباه المعادن وبناء شفرات ربع الموجة ونصف الموجة ، شبه معدومة اللون .

وبين ل . لونغشامبون L. Longchambon (1922) ان كل البلورات ذات نصف وجهية تخيلية هي مزودة بقدرة دورانية ، سواء كانت المادة أولم تكن ناشطة في المحلول . وقد وضع طريقة لقياس دقيق لهذه القدرة الدورانية في البلورات ذات المحاور المزدوج . ودرس پ . غوبرت P. Gaubert القدرة الدائرية ، المرتفعة جداً أحياناً ، في السوائل اللامتناحية .

ان قياسات اشارات التشتت بواسطة طريقة التخطيس في سوائل معروفة قد حسنت . وحسنت ايضاً الطريقة التيودولتيه التي وضعها أ . ف . فيدروروف (1889) التي تسمح بتعيين مكان اهليلج الاشارات بالنسبة الى عناصر التناظر في البلور المدروس . ان دراسة البلورات غير الشفافة ، التي ولدت مع التعدين الميكروسكوبي ، قد تطورت انطلاقاً من اعمال ج . كونيغسبرجر (1900 - 1910) J. Konigsberger ، واعمال ف . ي . رايت F. E. Wright واعمال هـ . شنيدر هوهر Schneiderhohn واعمال ك . شلوسماكر K. Schlossmacher (1924) .

ان فائدة قياس القدرات العاكسة في المعادن غير الشفافة ، بالنسبة الى الضوء المعكس المستقطب بصورة مستقيمة أصبحت أكيدة . وقد تم اقتراح معدات منذ 1923 . وفي سنة 1927 ، انجيز . اورسل اول مقياس صوري Photomètre ذي خلية تصويرية كهربائية اعتمدت في الميكروسكوب التصوير معدني الاستقطابي ، الذي أتاح اجراء قياسات على سطوح صغيرة

بلورية . وعالج أورسل فيما بعد دراسة التغيرات في القدرات العاكسة مع طول الموجة ، محدداً العوامل العددية الرئيسية في اللعبة ، وقُدِّمَ ل . كابديكوم تحسينات مهمة في ذات المجال (1936).
(1941) . وجرى العديد من قياس القدرات العاكسة اما بواسطة المقياس التصويري العيني الذي وضعه ل . بيرك L. Berek (1931) أو الصمام الضوئي المضاعف للالكترونات (آ . سيات ، 1951, A. Siat ؛ ج . برونوست G. Prouvost ، 1961) ، أو بواسطة نمط جديد من المقياس التصويري النظري (آ . ف . هاليموند A. F. Hallimond ، 1953 - 1957) .

التنوير أو اللعان - تحت تأثير الطاقات الخارجية ذات الطبيعة المتنوعة ، تعتبر البلورات مركزاً لظواهر رائعة قد تضيء دراستها تكوينها وتدخل مساهمات مفيدة على فيزياء الجوامد .

ان لمعان الاجسام الجامدة ، كان ، في القرن التاسع عشر ، موضوع بحوث من قبل أ . بكريل E. Becquerel الذي بين ان الاجسام الصلبة المتألقة تستمد هذه السمة من وجود مواد غريبة موزعة بدقة في الشبكة البلورية . ومنذ مطلع القرن العشرين ، درس العديد من الباحثين لمعان الأجسام الجامدة تحت تأثير الأشعاعات فوق البنفسجية ، والأشعة الكاثودية ، وأشعة X والأشعاعات الفا ، بيتا ، غاما α, β, γ .

وفيما كان ج . بكريل J. Becquerel يدرس بث التآلق الفوسفوري في حالات الحرارة المنخفضة جداً بواسطة املاح الاورانييل ، والياقوت والزمرد ، كان ج . أوربان G. Urbain (1909) وج . يوشيمورا J. Yoshimura (1934) يرصدان أطيف اللعان الكاثودي في الفلورينات الطبيعية ، وبينان ان دور المضيء (Luminogène) يتم فيها بفعل التربات النادرة (اوروبيوم ، ساماريوم ، الخ) .

ان دراسة البلورات البراقة على الحرارة قد قام بها ي . ايواز E. Iwase (1934) وف . مارتن F. Martin (1930) وهـ . شتينمتز H. Steinmetz (1936) . والبحوث حول التوصيلية الصورية ، في الموصلات النصفية الالكترونية قد اظهرت اهمية مستويات التنافر (العيوب) الموجودة داخل المستويات المنتظمة في البلورات (آ . ف . يوفي A. F. Ioffé ، 1935) . ولكن التآلق يلاحظ في بلورات هي نصف موصلة الكترونية . ان عودة الكترون التآلق ، المحلّد مؤقتاً ضمن المستويات الطاقوية في الشبكة ، يثير بث ضوء ما ، وتصبح مستويات التثبيت المؤقتة ، في الكترونات التآلق مستويات تنافر مخلوقة في الشبكة بقرب الشائبة (موريس كوري 1935-1934) .

ان استحداث البهرات بإثارة الاحتكاك (Triboluminescence) الذي بقي غامضاً قد تم أخيراً تفسيره من قبل هـ . لونغشامبون (H. Longchambon ، 1925) : ان هذه البهرات هي مظهر لمعان ازوت الهواء وسببها تفريغات كهربائية تثيرها بلورات خاصة عندما تكون هذه البلورات كهـر حرارية وكهـر اجهادية .

الالوان - ان الوان اشياء المعادن لم تدرس في القرن التاسع عشر ، الا من حيث امتصاص الضوء والالوان المتعددة Polychroisme . ان التقدم في معرفة بنية البلورات قد أتاح معالجة علاقات هذه الظاهرة الفيزيائية مع الخصائص البلوركيـمائية في المواد التي توجد فيها هذه

الخصائص . وقدم آ . ي . فرسمان (A. E. Fersman) (1937) تصنيفاً للالوان سندهاً لمنشئها .

ويميز هذا التصنيف بين :

1 - حالات التميز اللوني وفيها يتعلق لون شبه المعدن بتركيبه الكيميائي وبأساليب الارتباط بين الذرات في شبكته البلورية .

2 - حالات التغير اللوني وفيها يعزى اللون ، اما إلى استبدال بعض ذرات او ايونات في الشبكة بذرات اخرى أو ايونات ذات احجام مجاورة ، واما لوجود تضمينات متماسكة نوعاً ما ، موزعة داخل الشبكة البلورية .

3 - وأخيراً في التلون الزائف ، حيث اللون يعزى الى توزع الضوء ، والى ظاهرات تداخل أو تشتت تثيرها خصوصيات في النسيج البلوري .

ويختلف التلون ، قليلاً ، تبعاً لدرجة الحرارة في التبلر ووجود مواد غريبة في الوسط المولد . ويمكن أن يتغير هذا التلون تحت تأثير الظاهرات الكهربائية القوية (أشعة كاثودية ، اشعاعات راديوم ، أشعة فوق البنفسجية) التي تؤثر في الايونات ، وفي الذرات وفي الحقول التي تحيط بها ، مولدة مناطق جديدة لامتصاص الابصاري . ان الوان تشعب اشباه المعادن كانت موضوع اعمال تجريبية متعددة (ف . پريبرام (V. Pzibram) 1927-1953 ، الخ) .

وفي محاولة ربط تلون اشباه المعادن بطبيعة عناصرها ، لاحظ فرسمان Fersman ان بعض الايونات فقط تلعب دور « الصبغات » الحقيقية : $Ti, V, Mn, Cr, Fe, Co, Ni$ ؛ ودرجة دنيا : W, Mo, U ، الترتبات النادرة و Pt, Co, Mo في الاملاح المعقدة من هذه العناصر . ولكن هذا التخصص لا يشكل الا تقريباً أولياً .

المفعول الكهربضي والموصلات النصفية - تحت تأثير الضوء ، يكون بلور الكوبريت (Cu_2O) مكان قوة كهربائية محركة . وقدم آ . ف . يوفي Ioffé (1933) تفسيراً لهذه الظاهرة . واشباه معادن أخرى نصف موصلة قد درست من قبل ج . اثاناسيو (G. Athanasio) (1934) . فضلاً عن ذلك تمت انجازات ضخمة في اعداد الموصلات النصفية الاصطناعية (يراجع بهذا الشأن الفقرة VIII ، الفصل IX من القسم الثاني) .

خصائص فيزيائية أخرى - لقد حقق ج . غرينود (G. Greenwood) (1932-1935) جهازاً حساساً جداً للكشف عن الكهر اجهادية ؛ وهناك اسلوب كشف على الكهر حرارية يعود الفضل فيه الى ب . ج . مارتن (P. J. Martin) (1930) .

ان دراسة الاشعاع المتشربفعل رامان Raman في البلورات تتيح ، في بعض الحالات ، تحديد اتجاه الجزيئات أو الايونات ، وتحديد مكان الاتصالات ، وموضع ذرات الهيدروجين ، ودوران الجزيئات في الابنية البلورية ثم الكشف عن التشوهات والتحريفات في الايونات التي لا تستطيع أشعة X اكتشافها .

قدم ج . كابان J. Cabannes (1932) وج . ب . ماتيوي J. P. Mathieu ول . كوتور - ماتيوي L. Couture - Mathieu (1954-1947) مساهمات مهمة في هذا المجال . وكذلك ، تفاعل الشعاع تحت الأحمر مع الوسط البلوري قدم معلومات مفيدة جداً حول بنيتة وقدم عناصر من أجل تمييز الأنواع (ل . لكونت 1958, L. Lecomte ؛ وس . كايري S. Caillère وت . بوبغوين 1960-1961 (Th. Pobéguin) .

نذكر ان الشروط لكي تكون البلورات حديد مغناطيسية قد تحددت ، وان أنواعاً جديدة من الظواهر المغنطيسية : الحديد مغنطيسية المضادة والحديد مغنطيسية قد تم اثباتها (راجع الفصل VIII من القسم الثاني) .

ان انتشار أشعة X بفعل الموجات المطاطة ، في الوسط البلوري ، قد أتاح دراسة الاضطراب الحراري في الذرات التي تكونها (م . بورن M. Born و ث . فون كارمان Th. Von Karman 1913-1912 ، ج . لانفال J. Laval ، وهـ . كوريين H. Curien 1952) وقدم معطيات أساسية للمعرفة العميقة بالحقل البلوري الذي به تتعلق خصائص عديدة في الجوامد .

وبالنسبة إلى المعادن والخلائط ، يمكن ان نحسب الطاقة الممضوعة أو المتصاعدة من ذوبان الذرات الغريبة ثم استباق تبدلات التوصيل الكهربائي ، والقدرة الحرارية الكهربائية ، وحتى تغيرات طاقة التماسك مع تركيب الخليط .

القساوة - ان تقديراً مباشراً للتماسك البلوري بدراسة القساوة يفيد لتحديد الأنواع شبه المعدنية . وللأسف ان تعريف القساوة غامض جداً ، والتقنيات المختلفة المستعملة للوصول اليه تقيس بالحقيقة تركيباً معقداً نوعاً ما مؤلفاً من خصائص متنوعة : مطاطية ، ليونة ، صلابة ، لزوجة ، الخ .

ان طرق برينل Brinell (1900) ثم طرق فيكرس Vickers ، المستعملة من قبل المعدنين تدخل بشكل رئيسي مقاومة الاختراق . ان طريقة فيكرس قد طبقت في الفحص الميكروسكوبي للمقاطع المصقولة منذ 1936 .

وقد حسن س . ب . تالماج S. B. Talmage (1926) الطريقة القديمة طريقة السكلرومتر Scléromètre [مقياس التحجر] ؛ وابتكر ب . لورولان P. Le Rolland (1926) طريقة للمقياس مرتكزة على تأثير صلابة ركيزة سكين رقاص في مدة التارجحات الصغرى .

III - كيمياء التبلر

كان أحد الاهتمامات المسيطرة على الباحثين في البلوريات ، في القرن التاسع عشر ، هو البحث عن رابط بين طبيعة الجزيء الكيميائي في اشباه المعادن ، والبنية الجيومترية في بنائها البلوري . ان مفهوم التشاكل isomorphisme ودراسة البلورات المختلطة ، قد أتاح فهماً أفضل

للتكوين الكيميائي المعقد لعدد كبير من اشباه المعادن ، وفكرة الاستبدالات التفاضلية للعناصر الكيميائية ، كانت مقبولة . وقد ابتكر م . آ . غودن M. A. Gaudin سنة 1873 أساليب ترتيب الذرات داخل الجزئيات ، وترتيب الجزئيات في البناء البلوري ، مع اخذه في الاعتبار قانون التناظر الذي يسود كل التجمعات . وحسن ج . ديلافوس G. Delafosse هذا المفهوم حين ادخله ضمن نظريته الشبكية (راجع مجلد III ، الفقرة I من القسم الرابع) وبين لوثرامير Lothar Meyer دورية تغير الاحجام الذرية مع تزايد الوزن الذري للعناصر . ان العديد من الملاحظات حول الخصائص الفيزيائية للمواد المتقاربة جداً قد جمعت من قبل ب . غروث P. Groth (كيمياء التبلر ، 1906 - 1919) .

وارتأى بارلو Barlow وبوب Pope (1906) تفحص بلورة باعتبارها كياناً جيومترياً مكوناً من تجمع ذرات كروية ، لكل منها حجم مميز معين بفضل توازن بين القوى العاملة بين الذرات المجاورة . ان دراسة بنية البلورات عن طريق تشتت اشعة X كانت متوافقة مع هذا المفهوم ، الذي كان في أساس الاعمال الاولى التي قام بها آ . و . هول A. W. Holl خاصة بالنسبة إلى الهالوجينور القلوي (1920) .

الاشعة الذرية ؛ والاشعة الايونية - عند ملاحظة البنية البلورية في العناصر او بنات البلورات التي فيها تتصل ذرتان من نفس النوع ، (لاندي Landé ، 1920) ، امكن بالتدريج ، استخلاص قيم الاشعة الذرية والايونية في هذه العناصر ، ثم بالتالي استخلاص قيم اشعة العناصر الاخرى التي تندمج فيها . الا ان و . براغ ثم ر . ويكوف R. Wyckoff بينا ان الاشعة الذرية في نفس العنصر قد تتغير في تراكيبه المتنوعة . وقام ف . م . غولدشميدت (1923-1931) W. M. Goldschmidt بالتوفيق بين كل المعطيات التجريبية المتعلقة بهذه المسألة .

ان الاشعة الذرية والايونية في البلورات هي في الواقع الاشعة الظاهرية أو الفعلية في كرات تأثير الذرات والايونات في الفضاء المحتل في داخل البلورة المدروسة . وتحسب هذه الاشعة سناً للمسافات بين الذرات المقاسة عند تحديد البنية البلورية بواسطة تشتت اشعة X . وفي حالة الاشعة الايونية ، ان هذه الحسابات المتتالية تفترض معرفة الشعاع الايوني في مطلق عنصر من العناصر المدروسة . ان حسابات غولدشميدت تتركز على الاشعة الايونية في الفلوروفى الاوكسجين ، المحددة من قبل م . آ . واساستجنا S. A. Wasastjerna (1923) .

استطاع غولدشميدت أن يصل بين الشعاع الفعلي في الذرة أو بين الايون ذي العدد الذري في العنصر ، وبين قابلية Valence الذرة وبين الدليل Indice أو عدد التنسيق المميز للذرة في البنية المعنية (عدد ذرات عنصر آخر تحيط به) .

وأضاف آ . ك . بولديريف A. K. Boldyrev (1934 - 1936) إلى هذا تغير طاقات الاتصال ، على أثر استقطاب الايونات في المركبات المدروسة ، أي تغيرات شكلها وابعادها تحت تأثير الايونات المجاورة . ان هذه السمة قد عُبِّر عنها كميّاً من قبل م . بورن M. Born وو . ويزنبرغ W. Weisenberg (1924) ، سناً لمعطيات ابصارية وظيفية . وقد عرض غولدشميدت ومعاونوه الدور

الذي تلعبه في النظرية الحديثة في بنية البلورات (1925, Die Gesetze de Kristallchemie) .

على أثر هذه البحوث الجميلة النظرية والتجريبية ، عبر غولدشميت عن « القانون الاساسي » التالي : « ان بنية البلور تتحدد بالنسبة إلى كميات وحداتها البنوية ، وبالنسبة إلى أحجامها وبالنسبة إلى خصائصها الاستقطابية » .

ان عبارة وحدات بنوية تدلّ هنا على الذرات وعلى ايواناتها المتتالية وعلى مجموعات الذرات . ان هذا القانون يساعد على توضيح الاسباب التي بها تتعلق البنيات البلورية ، وهويدل أيضاً على انه لا يمكن تعميق هذه المسألة بدون دراسة اكثر اكتمالاً للقوى التي تشكل وتكون البلور ؛ ومعرفة هذه القوى مرتبطة بمعرفة بنية الذرة .

الارتباطات البديرة في البلورات - ان طبيعة قوى التماسك في الاجسام الصلبة وفي البلورات خاصة ، قد درست فيما بين 1924 و 1937 من قبل و . بليتز W. Blizt وهـ . ج . غريم H. G. Grimm وبولنغ Pauling و آ . فون انتروپوف A. Von Antropoff ون . ف . سيدويغ N. V. Sidwick ، وف . كاجان F. Kajans وغولدشميت جـ . د . برنال J. D. Bernal وج . شرمان J. Sherman وس . دوشمان S. Dushman وف . سيزر F. Seitz .

أدت هذه الأعمال إلى توزيع قوى الاتصال العاملة بين مختلف الوحدات البنوية داخل البلورات إلى أربع فئات هي :

1- الارتباطات الايونية (أو المختلفة القطب *hétéropolaire*) العاملة بين ايونين من شحنات متعارضة .

2- ارتباطات التكافؤ (أو الوحيدة القطب *homopolaires*) العاملة بين الذرات كما في الشبكات الذرية النمطية (حالة ذرات الكربون في الماس مثلاً) . قدم و . هايتلر W. Heitler وف . لندن F. London (1927) نظرية حول هذا الاتصال مرتكزة على الميكانيك التآرجحي .

3- ارتباطات فان دير والز Waals العاملة بين الجزيئات الحيادية كهربائياً . ان هذه الارتباطات التي يُولدها الحث المتبادل للشحنات الموجودة في مختلف أقسام هذه الجزيئات ، تبدو ضعيفة .

4- أخيراً الارتباطات في البلورات المعدنية التي تنتج ، بنظر غولدشميت ، عن كون الوحدات البنوية المشحونة ايجاباً تغطس في غيمة من الالكترونات ذات التكافؤ المشترك .

ان الاجسام الصلبة تقوم على النوى الذرية والالكترونات وينيتها هي بحيث ان النظام الكامل من النوى والالكترونات يكتسب الشكل المطابق للطاقة الكامنة الدنيا . ان تماسك البلور هو على علاقة بمئاته الميكانيكية . ويمكن التنبؤ بان قساوته ذات علاقة بالسمة وبالمسافات المتبادلة بين جزيئاته .

وقد درست هذه المسألة من قبل آ . ريس A. Reis ول . زيمرمان L. Zimmermann (1920).

(1926) ثم من قبل أ. فريدريك E. Friedrich وأخيراً من قبل غولدشميت (1927) الذي بين أنه في سلسلة ويدون شكل معين تتناقض القساوة بذات الوقت مع المسافة بين الايونات .

وهناك عمل مهم قام به ل. بولنغ L. Pauling (1927) واكملة و. زاكاريازن W. Zachariasen تناول الحساب النظري للأشعة الايونية ، في غالبية العناصر ، بالنسبة إلى الشبكات من نمط NaCl . وركز بولنغ حساباته ، بأن واحد على معطيات تجريبية وعلى نظرية البنية الذرية داخل مفهوم الميكانيك التارجمي الذي قال به شرودنجر Schrodinger .

وبالنسبة إلى البنيات الايونية ، استخرج بولنغ (1929) أهمية مفهوم التناغم أو عدد ذرات نوع ما مجموعة حول ذرات من نوع آخر. إن نسبة أشعة الايونات إلى اشعة الكاسيونات (cations) مرتبطة بالتناغم (أو بعدد التناغمات) . ان هذا المفهوم هو انعكاس لسمة مهمة في البنيات غير العضوية ، علماً بأن هذا المجموع المنتظم من الايونات ، حول الكاسيونات مثلاً ، يستمر حتى عندما لا يقتضيه التناظر . وقد عمل هذا المفهوم على تقديم معرفتنا بالانماط البنيوية ، خاصة في عائلة السيليكات (ب. ي. وارن B. E. Warren 1929 ؛ ول. براغ 1937) .

التشاكل وتعدّد الأشكال - ان المعارف المكتسبة حول البنية البلورية بفضل اشعة X قد أتاحت اعطاء تعريف ادق للتشاكل .

ويمكننا ، مع غولدشميت Golschmidt (1926) اعتبار المواد ذات الصيغ المماثلة وذات البنيات البلورية المتماثلة ، تشاكلية أي مركبة من الذرات أو الايونات ذات الابعاد النسبية ، وذات الاستقطابيات المتشابهة ، مثلاً NaCl و PbS .

ان الدراسات حول التحولات المتعددة الاشكال قد دفعت إلى الامام مجدداً بفضل تحليل البنيات البلورية بواسطة اشعة X .

لقد بحث ف. واليرانت F. Wallerant (1904) اصل تعدد الشكل ، ودرس ج. تامان G. Tammann (1903) تأثير الضغط ودرجة الحرارة على حالة المراد المتعددة الاشكال . وبين غولدشميت (1926) ان تأثير درجة الحرارة على استقطاب الايونات هو العامل الرئيسي في تغير البنية في المواد المتعددة الاشكال . واقترح م. ج. بورجر M. G. Buerger (1936) نظرية حركية للتحولات المتعددة الاشكال ، عند درس العلاقات بين التناظر في البنية وتناظر الذرات المكونة الخاضعة للاضطراب الحراري .

التحليل الكيميائي لاشباه المعادن - ان المعارف حول التكوين الكيميائي لاشباه المعادن قد أفادت في القرن العشرين من تقدم التقنيات في الكيمياء التحليلية وفي الفيزياء وفي الكيمياء الفيزيائية . ان الطرق المعروضة في « كتاب تحليل اشياء المعادن الصوانية (السيليكاتية) والصخور » الذي وضعه ف. و. هيلبراند F. W. Hillebrand (1900) قد أتاحت تحسين كمية التحليلات وتركيز انتباه اكبر على معايير بقايا العناصر .

وفيما بعد ، سنة 1920 ، أجريت تحسينات عدة خاصة على تحليل السيليكات باستعمال

المنشطات العضوية ، وبإدخال الطرق الفوتومترية [التصويرية] لقياس بعض العناصر ثم ، في حالة المعادن ، لأجراء التحليل الإلكتروني تحت ضغوطات متدرجة (لاسيور ، A. Lassieur ، 1923) .

ان العديد من تحاليل الصخور واشباه المعادن قد ظهر في الادب الجيولوجي : وآلاف تحليلات الصخور النارية جمعت ونوقشت من قبل هـ . س . واشنطن (1917) H. S. Washington في حين قدمت كتب كـ . دولتر C. Doelter ، وهنتز Hintze وآ . س . دانا E. S. Dana ، العديد من تحاليل اشباه المعادن .

ان طرق التحليل الطيفي قدمت خدمات جلى من أجل التحديد السريع للعناصر الموجودة بكميات صغيرة في اشباه المعادن . لقد عرض آ . دي غرامونت A. de Gramont الطريقة المسماة طريقة الاملاح المذابة لدراسة اشباه المعادن غير الموصلة ، وطريقة « الخطوط القصوى » من أجل تقدير البقايا والآثار . ان اعمالاً عديدة جديدة (اهرنس Ahrens ، 1951 ؛ ر . ل . ميتشل R.L. Mitchell ؛ 1956) أوصلت إلى تحديد سريع للمقومات القوية في أغلب العناصر .

ان التحليل الميكروميكروبي الكمي قد تطور أيضاً بنجاح ، باستعمال المنشطات العضوية التي تعطي تفاعلات تلوينية (طريقة « اللمسة ») ثم وضع طرق تصويرية تلوينية Chromotographique . وأخيراً ان تحسين التحليل الكيميائي بواسطة المطيافية في بهرة أشعة X (جـ . فون هفسي G. Von Hevesy ، 1932) قدم وسيلة ثمينة للبحث السريع عن العناصر ؛ وأتاح التقنية الحديثة تقنية « المسابر الميكرو الإلكترونية » (ر . كاستانغ R. Castaing ، 1955) في أغلب الاحيان دراسة سطح يبلغ قطره ، بالكاد ، ميكرون [واحد على مليون] .

ان المحاولات البيروغونوستية (Pyrognostique) ، المفيدة جداً للكشافين ، من اجل التحديد السريع على الأرض ، قد تحسنت بشكل ملحوظ من حيث فعاليتها ودقتها من قبل آ . برالي Braly (1921-1926) .

التحليل الحراري - ان الطرق المستعملة من قبل الفيزيائيين - الكيميائيين والمعدنيين لدراسة تحولات الأجسام الجامدة تحت تأثير الحرارة (ر . اوستن R. Austin وهـ . لوشاتليه H. Le Chatelier وسالادين Saladin ، 1904) يمكن ان تستخدم بجدوى من قبل علماء اشباه المعادن .

فقد بين س . كوزو S. Koso و . ماسودا M. Masuda (1926) وجـ . اورسل J. Orsel (1926-1935) والآنسة س . كايسر S. Caillière (1933-1936) ، ومـ . پافلوفيتش S. Pavlovitch ، فعالية التحليل الحراري التفاضلي لدراسة السيليكاات المميّهة والهيدرات المعدنية . والطريقة تستعمل الآن بشكل واسع ، وقد أدخل عليها العديد من الباحثين تحسينات مهمة . ان التحليل الحراري الثقلبي (مـ . غيشار M. Guichard ، 1925) والتحليل « قياس التمدد » (آ . بورتشان A. Portchan)

Portevin وب. شيفنار P. Chévenard ، 1928-1944 ؛ وج. شودرون Chaudron ، 1948) ، والتحليل الحراري المغنطيسي ، تستخدم دوماً من قبل علماء التعدين ، والأجهزة المتكررة التي ابتدعها ب. شيفنار تتيح إنجاز هذه القياسات بدقة .

التحليل المباشر الآلي - إن دراسة التجمعات شبه المعدنية تقتضي في أغلب الأحيان فصلاً دقيقاً ما أمكن لأشياء المعادن الموجودة في هذه التجمعات . ومن الأفضل اللجوء إلى طرق فيزيائية لا تتلف اشياء المعادن (اختلاف الكثافة ، والخصائص المغنطيسية أو الكهربائية) .

ومن أجل الفصل الغرافيمتري ، تعمم استعمال السوائل الثقيلة المتنوعة ، ويُصبح في بعض الحالات ، الطرد المركزي الدوراني Centrifugation . وصنع العديد من نماذج الفاصلات المغنطيسية (آ. ف. هاليموند A. F. Hallimond 1930 ؛ وس. ج. فرانز S. G. Franz 1958) وادخلت بعض التحسينات على وسائل الفصل الكهرستاتي (الكهرباء الثابتة) . وقد تم تحديد الثوابت الكهربائية الثنائية di-électrique ، في اشياء المعادن الأكثر شيوعاً . وفي حالة الرسوبات الصلصالية ، اتاح التحليل الفيزيائي بواسطة الرحلان الكهربائي Electrophorèse الذي وضعه ب. أوربان P. Urbain (1937) تحقيق فصل جديد . وأخيراً إن التعويم التفاضلي المستخدم في الصناعة العملية يطبق أيضاً في بعض بحوث المختبر .

IV - الاتحادات شبه المعدنية في الطبيعة

تعريف وتصنيف الأنواع شبه المعدنية - اتاحت نظرية هاوي Hany وتصورها للجزيء المكمل تركيز مفهوم النوع شبه المعدني على أسس دقيقة واضحة . ولكن النقاش يدور حول الأفضلية للواجب اعطاؤها لكل من المجموعتين من السمات : البسة البلورية أو السمة الكيميائية ، من أجل مقارنة الأنواع . إن مفهوم الباعث البلوري الذي ادخله ج. فريدل G. Friedel في مطلع القرن خَلَفَ منطقياً مفاهيم الجزيء المكمل (هاوي) و« الجزيء البلوري » (برافي Bravais ومالار Mallard) ؛ ومفهوم الباعث البلوري ، بحكم أنه أغنى ، أتاح إعطاء أساس أدق لتعريف النوع .

إن الصفة الأساسية في النوع شبه المعدني هي ذات طبيعة جيومترية ، أي دورية ترتيب المادة : إن التصوير الاشعاعي البلوري أعطى لمفهوم الباعث معنى أساسياً أتاح توضيح العلاقات الحقيقية بين السمات الفيزيائية في الوسط البلوري .

إن المواد شبه المعدنية الطبيعية التي لا شكل لها ، والزجاجية ، أو المعجونية أو السائلة ، تظهر أمام اشعة X بنية غير منظمة ، وتشكل في التصنيف مجموعات على حدة ، موضوعة بجانب الأنواع الأكثر تجاوراً من حيث تركيبها الوسطي (آ. ن. ونشل A. N. Winchell ، 1949) .

إن التصنيف المقترح في القرن التاسع عشر اتخذ أساساً له التركيب الكيميائي ، مع أخذه في الاعتبار السمات البلورية . في القرن العشرين ، اتخذت المنهجية المقبولة عموماً ،

منهجية ب. غروت (1904-1921) أيضاً كنقطة انطلاق التركيب الكيميائي ، ولكنها تحاول ان تبين كيف ان هذا التركيب ينعكس ضمن الشكل البلوري .

أدت النظريات الحديثة إلى تصنيف عام للبنى البلورية ، ضمن أربع عائلات كبرى ، مرتكزة على انماط الارتباط التي أظهرها التبلر وهي : المعادن ، الخلائط الايونية ، الخلائط الوحيدة الاستقطاب ، الخلائط المتنوعة الاستقطاب . وتميز الاجسام التي لا يظهر فيها الانماط واحد من الترابط (تجانس الروابط) ، عن الاجسام ذات الوجود العائد إلى عدة انماط من الروابط (تباين الروابط) .

الا ان وجهة النظر البنيوية ليست المرشد الوحيد الذي يتدخل في التصنيف المطبق حالياً . ان التقسيمات فيها تتألف من فئات طبقات كيميائية اكثر مما تتألف من انماط بنيوية : عناصر معدنية natifs ، سولفوريت ، اوكسيدات بسيطة ، اوكسيدات معقدة ، اوكسيدات مائية (هيدرو أوكسيد) ، كلورور ، كاربونات ، نترات ، يودات ، بورات ، سولفات ، سيلينيات ، تلوورات ، وكرومات ، وفوسفات ، وزرنيخات ، وأخيراً العائلة الكبرى عائلة السيليكات .

وفي كل طبقة ، تتقرر التقسيمات المكونة للأنماط ، تبعاً للنسبة A/X ، وفيها يمثل A الايونات الايجابية (كاسيون) أو الذرات الكهربائية الايجابية و X يمثل الايونات السلبية (آنيون) أو الذرات الكهربائية السلبية (غولدشميت ، 1928-1931) . وترتب الانماط في كل طبقة تبعاً للنسب A/X المتنازلة ، الخ . في خطوطها الكبرى ، تتطابق مجملات الأنواع المتميزة على هذا الشكل مع التقسيمات الثلاثة البلورية الكيميائية الرئيسية التي تنبثق عن السمات البنيوية .

ان استخدام معطيات التبلر الكيميائي كان فعلاً بشكل خاص لفهم تكوين السيليكات . وقد بين ف. ماشاتشكي F. Machatschki (1928) ، ثم ب. وارن B. Warren و. ل. براغ (1928) ول. بولنغ L. Pauling (1929) الاهمية الواجبة للمجموعة تراهيدريك SiO_4 لتصنيف هذه المركبات التي تمثل ما يقارب من 95 % من القشرة الأرضية . ويمكن بالتالي اعتبار السيليكات كمركبات من ذرات أوكسجين ملتصمة بفعل السيليسيوم ، والالومنيوم وبعض العناصر الاخرى ، ويمكن تقسيم هذه العناصر إلى ثلاث فئات بحسب اسلوبها في الالتحام مع الاوكسيد لتشكيل البنى . حول هذه المبادئ تم اقتراح عدة تصنيفات للسيليكات (و. ل. براغ ، 1930 ؛ ه. برمان H. Berman ، 1937 ؛ ك. ك. سوارتز C. K. Swartz ، 1937 ؛ ه. سترنز H. Strunz ، 1941) ؛ وكلها تعالج نفس انماط البنية ، وتتطابق مع البنية المرتكزة على رصد السمات الشكلانية ، وعلى السمات الفيزيائية .

وفي التصنيفات الجديدة لأشباه المعادن تتيح الاعتبارات حول البنية البلورية ، ومفهوم الديادوشي diadochi المرتكز على المماثلة في الأشعة الايونية ، وعلى التكافؤ Valence وعلى تعويض الشحنات في البناء البلوري ، توضيح طبيعة المستبدلات التشاكلية .

ولكن مفهوم النوع هو اكثر دقة في السلاسل التشاكلية . أثناء تشكل شبه المعدن ، تحدث

التغيرات المحتملة في الوسط المولّد ، وجوباً ، ولادة نوع جديد . ان تحول الركاز الاساس يمكن ان يحدث بشكل مستمر عن طريق استبدال ايونات أو ذوات في بنته ، ولهذا لا يتوجب اعطاء النوع حدوداً جامدة جداً ؛ ان السلاسل المطلقة العشوائية من اشباه المعادن (مثل البلاجيوكلاز ، والياقوتيات) تشكل وحدات شبه معدنية طبيعية ، ويمكن ان توصف كأنواع .

ان دراسات عامة حول مفهوم النوع قد قدمت من قبل ب . نيجلي P. Niggli (1946) وج . اورسل (1954) ون . غرينورييف N. Grigoriev (1960) .

شبه التوالد والتصنيفات شبه التوالدية - ان مفهوم شبه التوالد ، أو تداعيات أشباه المعادن ذات الاصل المشترك (بريتهوبت Breithaupt ، 1849) ، قد اُغتني بخلال القرن التاسع عشر بالعديد من الملاحظات ومن المعطيات التجريبية . وقد وضعت تصنيفات شبه توالدية من قبل آ . دي . لاپاران A. de Lapparent (1908-1900) ، ومن قبل ف . آنجل ور . شاريزر R. Scharizer (1932) ؛ وتصنيف إ . كوستوف I. Kostov (1954) حاول ان يربط بشكل عام المبادئ الجيوكيميائية ، والبلور - كيميائية والتوالدية .

ان تصنيف آ . دي لاپاران يرتب اشباه المعادن بحسب تداعياتها وبحسب أنواع التربة : اشباه معادن صخورية أساسية (بركانية ، أو تحولية) ، عناصر مخاليء شبه معدنية لا تحتوي على معادن ، وقود شبه معدني ، عناصر مخاليء معدنية (ركاز المعادن minerais) . وتشكل التصنيفات شبه التوالدية رابطاً مفيداً جداً بين التصنيفات البلورية الكيميائية وتصنيفات علم الأحجار . وقد عمّق د . س . كورجسكي D. S. Korjinski (1935-1957) دراسة الاسس الفيزيائية الكيميائية في تحليل الاشباه التوالدية من اشباه المعادن ، وذلك بادخال المفاهيم حول التوازنات الكيميائية وطرق الترموديناميك الكيميائي .

أشباه المعادن المشعة - يجب أن تكون أشباه المعادن المشعة موضوع اشارة خاصة لأن اكتشاف الراديوم من قبل بيار وماري كوري ، ثم الطريق الخصب جداً المقترح بفضل دراسة الظواهر المشعة الناشطة هي نتيجة لدراسة البشبلند Pechblende ، وغيره من أشباه المعادن من الاورانيوم والثوريوم (راجع بهذا الشأن دراسة ج . تياك Teillac ، الفقرة I ، الفصل X من القسم الثاني) . في القرن العشرين ، ركز العديد من علماء المعادن على دراسة هذه الاشباه . فضلاً عن ذلك ، ومن جراء الاماليب المتنوعة المستخدمة لتحديد المدة المطلقة للآزمنة الجيولوجية (أنظر دراسة ر . فورون R. Furon في الفصل اللاحق) ، بدا النشاط الاشعاعي هو اللاحق . ان طرق القيام تركز على معرفة حقب تفكك العناصر المشعة الموجودة في اشباه المعادن .

علم الصخور - بخلال القرن العشرين ، ارتكز علم الصخور على معطيات علم التعدين ، فاستفاد من التقدم في الكيمياء ومن الكيمياء الفيزيائية . ان تقنية الميكروسكوب الاستقطابي polarisant قد استكملت واتاحت بدقة تحديد المكونات شبه المعدنية لصخور السيليكات ، وهندسة تجمّعها . وتم جمع عدد صخمن من التحليلات الشاملة حول الصخور البركانية .

ومنذ سنة 1890 اقترح ف. لونسون - ليسنج F. Loewinson-Lessing تصنيف الصخور بحسب « معامل حموضتها » أو نسب عدد جزيئات الاوكسجين الموازي للموجود من SiO_2 إلى الموجود من جزيئات الاوكسجين في القاعدة bases ، ولكن هذا التصنيف ثلماً استعمل خارج روسيا ، وكذلك تصنيف آ. اوسان (1899) A. Osann . وادخل ف. فوكي F. Fouqué وآ. ميشال - ليفي A. Michel-Lévy (1897-1889) بصورة منهجية المعطيات الكيميائية في تصنيفهما الذي ارتكز أساساً على التركيب شبه المعدني وعلى البنية ، فكان منطلق التصنيفات الحديثة .

في سنة 1903 قرر كروس Cross وايدنج Iddings وبيرسون Pirsson واشطن تصنيفاً مرتكزاً على مفهوم « التركيب الاحتمالي » للماغما الاساس ، وعلى اعتبار « أشباه المعادن المعيارية » ، وعلى « المعايير الماغماتية » ، وفي سنة 1920 اقترح ب. نيجلي P. Niggli نمطاً من التصنيف كيميائياً خالصاً استعمل غالباً وبأن واحد مع النمط الآخر .

ان علم الصخور حمل منذ زمن بعيد اسم « البتروغرافيا » الذي خصصه بعض المؤلفين الانكليزي والاميركان للقسم الوصفي من هذا العلم . واستعمل آ. لاكروا A. Lacroix عبارة ليثولوجي (« علم الأحجار ») بالمعنى الوراثي génétique ، كما فعل من قبل بعض علماء المعادن في أواخر القرن الثامن عشر . واعترض ف. بليانكين V. Bélianekine (1953) ضد تمييز حاسم بين المظهر الوصفي ووجهات النظر النظرية والتفسيرية . واعتبر ج. اورسل (1957) ان البتروغرافيا موضوعها الاساسي هو دراسة شروط تكون الصخور ، وعمليات نشأتها .

ان التصنيف الصخري الذي وضعه فوكي Fouqué وميشال ليفي Michel-Lévy قد عُدَّ اغني من قبل آ. لاكروا A. Lacroix الذي جعل منه اداة بحث رائعة لمعرفتنا بعمليات تحول الصخور . وقد اهتم لاكروا دائماً بتحديد العلاقات المتبادلة بين الصخور في الزمان وفي المكان ، وسعى إلى تحديد شروط ولادتها ، فناقش بأن واحد الملاحظات شبه المعدنية والمعطيات الكيميائية . وبالنسبة إلى هذه الاخيرة ، ارتكز على التصنيف الكيميائي شبه المعدني الذي تبناه علماء وصف الصخور الاميركيون ، الا انه لم يأخذ من هذا التصنيف الا استعمال « المعايير (paramètre) الماغماتية التي تفسر التركيب الكيميائي » المحتمل للصخر .

ويفضل هذه الطريقة التي تجمع وجهات النظر الثلاث الموجودة في علم اشباه المعادن ، والكيمياء ، والجيولوجيا ، استخرج لاكروا بشكل خاص المفاهيم الاربعة « الحجرية » عن اشباه المعادن العرضية symptomatiques ، وهي انماط متنوعة الاشكال ، أو أوجه من التغيرات الصخرية ، وسلاسل صخرية ذات مدلول كبير عام لدراسة ولادة الصخور البركانية . وقد اوضح لاكروا من جهة ثانية مفهوم المناطق الصخرية أو الماغماتية وهو مفهوم أدخله ب. نجلي P. Niggli وهولمز Holmes .

ان مفهوم النوع في علم الصخور يجب ان ينظر إليه بمرونة بالغة . فقد اشار لاكروا إلى أن الشقوق المتصورة في التصنيفات « هي عدم تشابعات أدخلت تسهلاً أو بالضرورة في مجملات متالية ، انما يجب أن تتفق بشكل يجعل وجهات النظر التعدينية والكيميائية والتوالدية متطابقة » .

وقد انتقد و. ي. تروجر W. E. Troger (1955) مفهوم «نمط الصخور» ووجهة النظر التوالدية في التصنيف ، وبالعكس أشار ه. ترميه H. Termier و ج. ترميه G. Termier (1953) إلى خصوصية التصنيف الوراثي للصخور البركانية والمتبلورة .

علم البنيات - Structurologie - لقد افتح ب. ساندر B. Sander وو. شميدت W. Schmidt هذا المجال العلمي الجديد في علم الصخور ابتداء من سنة 1925 . وبالدراسات الميكروسكوبية التي تستخدم البلاتين التودوليت ، بين هذان الباحثان ان أشباه المعادن التي تكون الصخور ، قد تلقت أثراً ميكانيكياً زخيماً ، فشكلت تجمعات لها فيما بينها علاقات تناظر مميزة . ان هذه الطرق التي ادخلت إلى فرنسا وحسنت من قبل ف. كروت F. Kraut ابتداء من سنة 1945 ، اكملت ، في مجملها ، تماثل عملية تشويه الصخور مع ظاهرات الانسياب اللدائي المدروس في الريولوجيا Rhéologie (علم الدفق) .

نظرية التحولية ؛ الصخور الماغماية والتولد الصخري العميق - لقد عرف الجيولوجيون والمعدنون في القرن التاسع عشر التحولية بالملامسة ، والتحولية الاقليمية أو العامة . وقد درس آ. لاكروا (ابتداء من سنة 1888) التجمعات شبه المعدنية الحارثة في حالات ملامسة الصخور البركانية ، وبين أهمية الدور الذي تلعبه المتوجات المتطيرة الصبغة عن الماغما ، بالنسبة إلى نمطي التحولية ، المرتبطين بشكل وثيق فيما بينهما . وهو بهذا قد أكد الافكار التي قال بها ميشال - ليفي في أعماله حول الغرانيت . ان بحوثه حول الصخور البركانية قد أوضحت التحولية الناتجة عن الحمم (1893) ومفهوم التحول الغازي الذاتي autopenumatolyse (1906) .

وكانت فرضية التحولية الاقليمية التي صاغها ديلس Delesse وإيلي دي بومونت Elie de Beaumont ثم لوكا شيفيتش Loukachevitch (1908) وطورها فان هيز Van Hise وف. بيك F. Becke موضوع دراسات عدة . وعند مستوى الملاحظة لهذه المجمعات الكبرى التي تؤلفها التشكلات البلورية الممتدة ، يركز التصنيف على مفاهيم مناطق العمق (ف. غروبنمان ، V. Grubenmann ، وج. جونج J. Jung وم. روكس M. Roques) .

ان كل منطقة تتحدد بسمات شبه معدنية وكيميائية وهي تتطابق مع مراحل خاصة من تطور الشروط الحرارية المتحركة في الوسط ، حيث تتابع عملية التبلر في الكتل شبه المعدنية المدروسة ، مع اقترانها غالباً بتولد مادة أو تحولات تعزى إلى تنقلات أدبية Tectoniques (التحول التراجمي ، بيك Becke ، 1909 ؛ وهو نظرية قال بها ف. اوبروتشيف V. Obrouchev (1929) وآ. هاركر A. Harker والمدرسة الفرنسية) .

وعلى صعيد رصد كتل الجبال المحددة بالصخور أو بالأجهزة البركانية ، ان مفاهيم الماغمات والتفارق الماغماتي ، هي في أساس التصنيفات شبه المعدنية .

ولكن المجالين لهما جذع مشترك : انه دراسة التولد الصخري العميق . وقد وضعت نظريات متنوعة بهذا الشأن انطلاقاً من معطيات متعلقة بالتفاعلات البركانية والتحولية . ان مسألة

نشأة الصخور الغرانيتية هي فيها « حجر المحك » .

في العمق ، ان كل علماء الجيولوجيا تقريباً ، وعلماء وصف الصخور يقولون ان صخوراً ترسبية تتحول بدون ذوبان بفعل التحولية إلى صخور بلورية مكونة من نفس اشباه المعادن التي تتكون منها الصخور البركانية السطحية .

ومن جهة أخرى ان بعض الصخور الحبيبية (مثل الغرانيت) تمر بمراحل من الانتقال إلى صخور تحولية . ويوجد في أغلب الاحيان منطقة مركبة معقدة من الصخور الغرانيتية تتركب من صخوراً تحولية (منطقة الميغماتيت) . ان تفاعلية التحول من الصخور الرسوبية أو البركانية إلى صخور غرانيتية قد أشار إليها ج . ج . سيدر هولم J. J. Sederholm تحت اسم « التماسخ الصهري » (Palingenèse) .

وتواجه عدة نظريات لتفسير هذه الوقائع . « الجموديون » يظنون ان الغرانيت ، مثل الصخور التحولية ، قد تشكل بالانتقال من حالة الجمود البلورية في الصخور السابقة الوجود ، دون مرور بحالة ذوبان وسيطة . أما « الميوليون » و « الماغماتيون » فبعكسهم ، يفترضون ان الغرانيت قد مر بمرحلة وسيطة ، حالة ذوبان . ان « الميغماتين » المتمثلين بالمدرسة السكندنافية التي يتزعمها سيدر هولم Sederholm ، لهم موقف وسط ويصفون بدقة ظاهرات « التحول الصهري » التي ولدت الميغماتيت . ان وجهات النظر هذه ، كلها ، قد نوقشت بحماس بالغ .

فمنذ سنة 1910 ، تلقت النظريات الماغماتية دعماً من المعطيات التجريبية التي قدمها ن . ل . بوين N. L. Bowen ؛ واستخدم ب . نيجلي P. Niggli وتلاميذه هذه التركيبات ، والعديد من التحليلات المتناسقة بواسطة طرق بيانية ، ليبينوا أصل غالبية الصخور المتحجرة بواسطة التفاضل الماغماتي .

فضلاً عن ذلك ، ان المدرسة السكندنافية قد دعمت وجهة نظر المدرسة الفرنسية (ميشال ليفي ، لاكروا وب . ترميه P. Termier) حول تنائر العناصر الكيميائية انطلاقاً من المنطقة الماغماتية وصولاً إلى المناطق التحولية ، مع توليد أشباه معادن جديدة .

ولكن في العمق تناولت المناقشات حالة المادة ، في بداية التغيرات العميقة ؛ ولكن حالة الاشكال غير المستقرة oligophase أو حالة الاشكال المتحركة dynamomorphe (ل . غلانجو L. Glangeaud ، 1943 ، 1947) ، تتوافق مع حالة من الاضطراب الذري يسهل عملية هجرة الذرات .

ان هـ . وج . ترميه لاحظا ان الجموديين لم يتوصلوا بعد إلى نظرية متماسكة حول نشأة الصخور ، في حين ان الماغماتيين قد بذلوا جهداً مشكوراً في التركيب المرتكز على قانون المراحل (نيجلي ، 1936) . لقد نازع الجموديون ، على الأقل ، في كتاباتهم الاولى ، في دور الماء في عملية التحول وفي العملية الغرانيتية ، وارتأوا القول بهجرات كيميائية « داخل الجامد » وعلى الناشف (ر . برين R. Perrin وم . روبولت M. Roubault) مرتكزين على ملاحظات

اجريت في جوانب الافران التعدينية (1939). الواقع ان تحليل الغازات المجتثة بتكلس الصخور التفجيرية والبركانية ، وتحليل الأبخرة البركانية ، ووجود (في بعض اشباه المعادن) بقايا لزجة أولية (ج . ديشا G. Deicha) ، ووجود أوكسيدريل OH في تشكل العديد من أشباه المعادن الصخرية ، كل ذلك يدل على أن الماء قد لعب دوراً مهماً . ان تجارب ج . وبارت (1947) Wyart ، وتجارب مدام كريستوف - ميشال - ليفي (1953) ، وتجارب هـ . س . بيودر H. (1952) Yoder تؤكد ان هذا الدور كان أساسياً ولا يمكن ان يقارن بدور المساعد كما يفترض ذلك « الجماديين » .

في المناطق الكبرى من التحولية الاقليمية ، ترسخ الغرانيت أحياناً أثناء حركات التعرج بالذات (الغرانيت السنينماتي Synclinématique ذو المسار الطيقي Stradoide) ؛ وفي بعض الاحيان يصعد عبر سلاسل سبق ان تعرضت ، فتكونت جبال الغرانيت المحصورة التي ارتبطت بها مأ ومهمة معدنية . ان نظرية المناطق بالعمق ، في التحولية الاقليمية قد ناقشها الجيولوجيون السوفيات ، وخاصة ن . ب . سيمينكو N. P. Semenenko (1953) . والتحليل المعمق لمشاكل التحولية ، المرتبطة بمشاكل عملية في المناجم ، دلّ على ان التفاعلات الأديمية ، والماغماتية والتحولية مرتبطة فيما بينها ، وان هجرات وتراكمت لعناصر دخلت في تركيب تربات المعادن ، هي على اتصال مع مظاهر ماغماتية لاحقة جاءت بعد التعاريج .

وقد قاوم د . س . كورجنسكي Korjinski (1940) مفاهيم التحولية التي تعتبر ان الصخور قد تكيفت مع شروط الحرارة والضغط . وقد ظن ان التفاعلات التحولية بدأت فقط بوجود المياه أو المحاليل ذات الشكل السائل ، والتي يعتبر الماء فيها المكون الرئيسي .

وحاول العديد من المؤلفين ان يوضحوا مفهوم الماغما . وهذا التعبير الذي استعمله لأول مرة فوجلسان Vogelsang يعرف عموماً بأنه المادة الاساس في الصخور المولودة .

ويرى ايدنغ Iddings وواشنطن ان « جيأ من الماغما » ليس انا يحتوي سائلاً ، بل هو نوع من حالة أرضية ، قد تتحقق في أعماق متنوعة بحسب الظروف المحلية للتركيب الكيميائي ، للضغط ولدرجة حرارة . ويرى ديفيليه Du villier (1947) بأن سيولة صخرة جامدة قد تحدث من جراء مجيء مياه متسربة شعرياً بفعل تحركها الاستثنائي في حالة السيولة المطلقة . وشدد ف . س . تورنر Turner وج : فـر هوغن J. Verhooguen (1951) على ان سيولة الماغما تظهر حتى لو ان قسماً منها فقط هو سائل .

ان مسألة معرفة وجود أو عدم وجود ماغما أولية قد نوقشت بشدة . فقد اعتقد العديد من الجيولوجيين ان الماغما البازالتية قد تكون هي الماغما الأولية التي منها تكونت الصخور النارية بفعل التبلر المتجزئ ، اي تمثل المواد المتنوعة وتطايير المواد القابلة للتطايير . إلا ان دراسة الاحجار التيزكية تبين وكأنها تدل على ان الأرض في قشرتها العميقة « المعطف » تتألف من مواد أولية فوق قاعدية ، ومجمل القشرات الغرانيتية والبازالتية لا يمثل الا 1,2 إلى 1,4 % من مجمل حجم الأرض .

ان متتالية التآرق البسطة بفعل الجاذبية الأرضية وبفعل التبلر لا تبدو كافية لتفسير تشكّل المتوجات البازالتية والفرانيتية. وبدو وكأنه قد حصل ذوبان مستمر واستخراج لخلائط أصهرانية من الأكثر قابلية للذوبان ضمن شروط ديناميكية مؤدية الى ذوبان وإلى تحجرات متكررة (A. E. Fersman, 1933; A. Holmes, 1932). لقد أبدت ملاحظات متنوعة بهذا المعنى من قبل باحثين مختلفين. ومن الفرضيات الأكثر جدة ملاحظة ب. ن. كروبوتكين (P. N. Kropotkin, 1953) الذي يعتبر الماغما الفرانيتية الطفولية تمثل المادة الأساسية للكتل السيلالية Sialiques (من قشرة الأرض)، إلا ان القسم الأكبر من الماغما الفرانيتية هو من اصل صخري الخلق، وقد ولد بفضل تفاعليات نشوء الجبال، بخلال تقلب الصخور الرسوبية والتحولية.

نذكر أيضاً انه بفضل قوانين الترموديناميك والتبلر الكيميائي قام ب. نيغلي (P. Niggli, 1938-1935) وآ. فرسمان (A. Fersman, 1937-1934) بدراسة في العمق لتطور الماغما ومشتقاتها. وقد عرّفا بمراحلها الأساسية وأكدوا على الفكرة القديمة جداً القائلة بربط منشأ المآوي شبه المعدنية الخيطية بمنشأ الصخور النارية.

دراسة المآوي شبه المعدنية - ان علم ولادة المعادن métallogénie يعني بدراسة التفاعليات التي ولدت وتجمعت غزيرة لمادة كيميائية ما، وقد استفادت من الانجازات التي تحققت في مختلف فروع علوم الأرض وفي مجال الكيمياء الفيزيائية.

ان القربى بين علم الاحجار وعلم ولادة المعادن قد ظهرت في العديد من الاعمال منذ اعمال ل. دي لوني (L. de Launy, 1897-1913). ان المآوي المعدنية يمكن ان تصنف ضمن فئتين كبيرتين بحسب ما اذا كان منشؤها داخلياً (اي متولدة من تفاعليات حدثت داخل القشرة الأرضية) أو خارجياً (اي ناشئة عن تفاعليات حدثت في المناطق السطحية من القشرة الأرضية، ومن جراء هذه الواقعة، فهي ترتبط بنشاط الاجسام الحية، بما فيها الانسان).

لقد تناولت البحوث الرئيسية بنية المناطق المتعددة، وعلاقتها مع الصخور المغلفة كما تناولت مراكز النشاط الماغماتي، والتحويلات في المستودعات المعدنية، بخلال الحقب الجيولوجية (ل. دي لوني Launay، وو. ت. لندجرين Lindgren، وو. ه. امونس Emmons، وب. نيغلي وآ. فرسمان). وهناك فصل اساسي يعالج التركيب التعديني، كما يعالج بنية وتشكّل الركازات التي تتألف منها هذه المآوي. وقد تمت انجازات ضخمة في هذا الطريق بفضل الفحص الميكروسكوبي بواسطة الضوء المكثف المعكوس (و. كمبل، 1906 Campbell، ج. مسوردوك Murdoch، وه. شنيدر هوهر Schneiderhohn، وب. رامدوهر Ramdohr، وج. اورسل Orsel، 1926-49؛ وج. م. شوارتز Schwartz؛ وف. ن. كامرون Cameron، 1950-1961).

ان دراسة التتاليات المعدنية والتجمعات المعدنية قدمت ملاحظات وفرضيات مفيدة. وخاصة ملاحظات امونس (1917-1933) ولندجرين (1930-1936) حول التوزع المناطقي للتمعدن حول مراكز النشاط الماغماتي. وقد حورت هذه النظرية من قبل العديد من الجيولوجيين

السوفيات على اساس من الملاحظات الجديدة ؛ واقترح ف . ي . سميرنوف (Smirnov) (1950) فكرة ترسب حدث بفعل « النبضات » على عدة مراحل .

البيروغرافيا حول الصخور الرسوبية - ان دراسة المآوي الركازية ذات المنشأ الخارجي تدخل في علم وصف الصخور المعني بالصخور الرسوبية ، وهو علم اخذ الكثير من الاهمية في القرن العشرين من جراء دوره في الابحاث البترولية . ان الدراسات العميقة التي قام بها ل . كايو L. Cayeux (1897 حتى 1941) قد ساهمت في تثبيت الوجه الحديث لهذا العلم .

ان التصنيفات المنوعة المقترحة قد استعانت بمجموعات مختلفة من الخصائص المعتمدة كاساسية : عناصر الترسيب ، التركيب الكيميائي ، قصب أو حجم العناصر ، دور الاجسام ، أوساط الترسيب . وارتكزت دراسة آ . كارويزي (1953) على الطبيعة الفيزيائية أو الكيميائية لدى عناصر الترسيب فوصلت الى اعتبار مجموعة الصخور الحثائية المنقولة أو المثبتة (الرمال ، الدفلام ، الصلصال ، الركام ، والمتجمعات) ، والى اعتبار مجموعة الصخور ذات المنشأ الكيميائي أو البيولوجي ، والتي يتميز بعضها (الصلصال والصخور الفحمية : الفحم الحجري واللينيت ، والبوكسيت ، وركاز الحديد السريثي (الاولييتي) ، والصخور الفوسفاتية ، والصخور الملحية) بأهمية صناعية كبيرة . ان مجموعة الصخور التي برزت فيها هذه الانجازات بشكل محسوس ، هي مجموعة الصخور الصلصالية .

وادی تحسين الطرق الاستقصائية الى وضع تعريف اكثر دقة للانواع الركازية ولمختلف الواجه التي ارتداها ركاز واحد من الاوساط الصلصالية ، ولاسلوب اتحادها بانواع اخرى من الركازات ، ولتحولاتها ولنظام تاليها في الوسط الطبيعي .

وعلى اثر بحوث هـ . لوشاتلية (1887, 1914) وآ . لاكروا (1894) وآ . فرسمان (1913) فان اعمالاً عديدة قد وسعت معارفنا حول تكون وحول تولد الفيليت الصلصالي . وعرض هذا الفيليت في المؤلفات الحديثة التي وضعها ف . ف . تشوكروف Tchoukhrov (موسكو ، 1955) ، وفي براون Brown (لندن ، 1961) وس . كاييروس . هينين Hénin (باريس 1963) . وقامت مجموعات عمل في عدة بلدان وتم التنسيق بين نشاطاتها بفضل لجنة دولية هي السيسا (C.I.P.E.A) .

ان ركازات الحديد الرسوبي التي درست في مطلع القرن من قبل ل . كايو كانت بعد ذلك موضوع بحوث على الصعيد العام والاقليمي .

نذكر بشكل خاص بحوث و . غرونر Gruner 1922 ، وآ . ف . هاليموند 1925 Hallimond ؛ وبحوث آ . س . مور Moore وج . ي . ماينارد Maynard 1929 ؛ وآ . أو . هاييس Hayes 1915, 1929 ؛ وادت اعمال الانسة كاييروف . كروت (1947-1955) الى الاعتقادات بان الركازات السريثية في منطقة اللورين الفرنسية نتجت عن تحطم مركب صخري تشكل فوق سطح قاري ، تحت مناخ حار ورطب في لياس .

ان البوكسيت بأنواعه واللايريت اللذين لهما أهمية خاصة من أجل دراسة تفتت الصخور الصوانية والفحمية ومن أجل استخراج الألومنيوم كانا موضوع العديد من الدراسات منذ الدراسات التي قام بها ل . فرمور (1912) .

ان دراسة تكوين الفحم الحجري كانت موضوع بحوث ميكروسكوبية تطورت في أوروبا وفي الولايات المتحدة منذ أعمال م . ش . ستويس (1919-1935) ، وأعمال ه . بوتونيه (1924) Potonié وآ . دويارك (1927-1933) Duparque .

V - الكيمياء الأرضية والكيمياء الكونية

ان كلمة كيمياء أرضية قد استعملت سنة 1838 بفضل السويسري شونبين Schonbein . ولكن تطور هذا العلم الحقيقي قد تحقق في القرن العشرين . فظهرت ثلاثة اتجاهات أساسية :

1 - الدراسة المنهجية للتجمعات المعدنية الركازية ، وقد أطلقها بريتهوت Breithaupt (1949) ، أدت إلى تعريف مختلف أنواع المتاليات الركازية التي شكلت بعض الخطوط الممتدة الودائية الأساسية وإلى وضع العديد من الرسيمات الإجمالية (ف . ساندبرجر 1885 Sandberger : سلاسل المياه الحارة ؛ و . س . بروغر ، 1890 : السيليكات ؛ فانت هوف ، 1903 : مناجم الأملاح ؛ آ . فرسمان 1932 : البغماتيت ، الخ) .

2 - النشوء المعدني Metallogénie الذي سبق ، من بعض الوجوه ، الكيمياء الأرضية الحالية ؛

3 - الكيمياء الأرضية بالذات وقد حاولت ان تعمق المسائل النظرية التي طرحها اصل توزيع العناصر الكيميائية وتركيباتها في مختلف قشرات الكرة الأرضية . ان هذا العلم هو الامتداد الطبيعي لعلم التعدين والتبلر ؛ ثم انه ليست المصادفة هي التي جعلت صناعتها الاولى الكبار : ف . و . كلارك Clark ، و . ج . ثرنادسكي Vernadski وف . م . غولد شميث من علماء التعدين الممتازين . ثم ان الكيمياء الأرضية قد استفادت من انجازات الكيمياء الفيزيائية ومن الفيزياء الذرية ، وهي انجازات أتاحت فهماً أفضل للتحويلات التي أصابت الوسط البلوري بخلال تطور القشرة الأرضية .

وعند مستوى آخر من التجريد أدخل باحثون متنوعون ، بعد ثرنادسكي (1924) وبعد فرسمان (1933) مفاهيم الدورات الكيميائية الأرضية ، والغلافات المائية الحارة في القشرة الأرضية ، وكذلك تعميمات مختلفة مرتكزة على التصنيف الدوري الذي وضعه مندليف (راجع كتاب غولد شميث ، طبعة جديدة 1954 ، وكتاب تيو . ج . ساهاما Sahama وك . رانكاما Rankama) .

ان الانجازات الحديثة في الفيزياء النووية قد اغنت الكيمياء الأرضية بمجال جديد من البحوث يركز على مفهوم النظير المشع isotopie ؛ وأهمية هذا المجال النظرية والعملية تأتي من ان توزيع النظائر قد يوضح تفاعليات التشتت والتركز في العناصر الكيميائية .

وهكذا ، وبصورة تدرجية أعطى المعدن ، المخصص بكمياء الأرض ، لفكرة الذرة الافضلية على فكرة الجنس أو النوع المعدني ؛ ولم يكن لينسى ، مع ذلك ، ان الاعتبارات الكيميائية الأرضية لم تكن كل قيمتها الا اذا ربطت بمفهوم النوع المعدني بكل معناه .

ومن الناحية الطاقوية ، ان الانتقال الى حالة البتر تمثل تفاعلية تحولية في حالة اكثر استقراراً واكثر فقراً بالطاقة . فكلما أعطى الايون طاقة أكثر ، مساهماً في تكوين بناء بلوري ، كلما كان اكثر اهلية لان يتجمع في كتل مهمة في القشرة الأرضية . ان خصائص هذه الشبكات البلورية تتنوع انماطها ، وبفعل قيمة المسافات الشبكية ، وبفعل العلاقات بين الطاقات الانصالية التي يمكن تعريفها وتحديدها في البلور . ان مفهوم الحقل البلوري الذي ادخل بهذا الشكل قد اتاح التعمق اكثر في جوهر البلور بالذات ، وفي بنيته ، ولكن عالم الكيمياء الأرضية مضطر الى تكييف هذه البحوث مع المتطلبات الخاصة بعلمه .

هناك مرحلة مهمة في هذا المسعى قد تم اجتيازها بفضل ادخال آ . فرسمان (1937) فكرة المعاملات الطاقوية (Ek و Vek) للتعبير عن الطاقة الشبكية . ان هذه المعاملات ، الحاصلة سناً لمعادلة آ . كابوتنسكي Kaputinski (1933) ، قد حددت كمية الطاقة التي يبثها ايون عندما يتقل من حالة التشتت الى حالة الايون أو الذرة المدخلة ضمن شبكة بلورية ، كما عرفت درجة الجمودية والصلابة في الارتباطات ما بين الذرات . ان هذه النظرية ، وان كانت تنظر بصورة ضيقة وحصرية الى نمط الارتباط الايوني ذي الصفة الكهربية الثابتة ، قد حُددت بفضل المكتسبات الحديثة في العلم البلوري الكيميائي وفي الفيزياء الذرية ، وهي ما تزال ذات اهمية اكيدة .

وتشمل الكيمياء الأرضية ايضاً دراسة قوانين توزيع العناصر الكيميائية في الكرة الاحيائية (La biosphère) (و . ج . فرنادسكي ، 1929) . ان اهمية التفاعلات بين ظاهرات الحياة والمادة الأرضية قد ادت الى ولادة علم البيولوجيا الأرضية الكيميائية (يو - جيو - كيمياء) ، وهو علم مرتبط بالكيمياء الاحيائية وبشكل جسر بين الكيمياء الأرضية والبيولوجيا ، خاصة بالنسبة الى البحوث حول المسألة الكبرى مسألة اصل الحياة (ج . د . برنال ، 1947 ؛ آ . اوبارين وف . فسكوف ، 1958-1957) . ان اتصال الكيمياء الأرضية ، علم التعدين وعلم اليشة الأرضي الكيميائي ، بعلم التربة Pédologie ، جدير ايضاً بالذكر .

النيازك (الميتيوريت) - التكتيت والكيمياء الكونية - ان التحليل الطيفي للمضوء الذي تبثه النجوم قدم لنا افكاراً واضحة حول التكوين الكيميائي للكون فيما وراء كوكبنا . ولكن الرسالة الوحيدة المحسوسة مباشرة عن الاشياء السماوية تأتي عن طريق سقوط النيازك والشهب (ونعرف اليوم اكثر من الف منها) التي تتيح ارساداً مهمة مقارنة من ناحية علم الاحجار والكيمياء الأرضية .

ان المبادئ التي اقترحها دوبري Daubrée من اجل تصنيف النيازك (راجع مجلد III ، الفقرة ٧ ، الفصل I من القسم الرابع) ، قد أخذت واعتمدت في خطوطها الكبرى . وقامت اعمال عديدة فتناولت تكوين النيازك ، كما تناولت التكتيت والغبار الكوني ، وطبيعة ونسب النظائر التي تحتويها ، كما بحثت في النشاط الاشعاعي ، المرتبط في قسم منه بانثر الاشعة الكونية ذات

الطاقة الكبرى . وقدمت هذه الدراسات نتائج مهمة حول تأهيل ، وعمر واسلوب تشكل كوننا الكوكبي .

ان المجموعات الكبرى المعدنية العلمية ، في مختلف البلدان ، كما في فرنسا ، مجموعة المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي ، تحتوي على سلاسل مهمة من النيازك . وعلى الصعيد الدولي قامت لجنة دائمة سميت لجنة النيازك في سنة 1948 . والكاتلوج الذي وضعه ج . ب . بريور Prior وماكس هـ . هاي Hey (طبعة جديدة ، 1953) يعطي اماكن سقوط النيازك المعروفة حتى سنة 1953 . وبمدها قامت اللجنة الدولية الدائمة بمتابعة عملية الجرد والاحصاء .

ان اهمية المعطيات المجموعة حول النيازك ، وضخامة البحوث الجديدة التي نفذت بشأنها جعلت بالامكان قيام علم أحجار كوني ما يزال ينمو . ان هذا العلم ، الذي تزايدت اهميته ، منذ التجارب الفضائية الاولى ، هو اساس الكيمياء الكونية . وهو امتداد لطرق ومكتسبات حققتها الكيمياء الارضية في مجمل الكون .

VI - الطرق التجريبية في مجال علم التعدين

ان التجريب الكيميائي ، عن طريق التوليف ، قد قدم عناصر مهمة اتخذت كمرجع حول ولادة وحول تحولات الركازات في الطبيعة . ان الطرق المفتوحة والمناهج المتبعة في القرن التاسع عشر قد تطورت ، مختبة بتقنيات جديدة وبمعدات تقدم إمكانات أكبر وتوضيحات أكثر حول الظروف التجريبية الموضوعة قيد التنفيذ (التركيبات المائية الحرارية ، التزجيج frittage ، الذوبان بدرجات حرارة عالية) .

اعطى ر . ويل ور . هوكارت (1951-1953) لتجارب هـ . دي سينارمونت (1951) Senarmont اتجاهها جديداً ، ثم تابعا بنجاح بحوثاً حول تشكل الركازات من القضة وحول مختلف انواع السولفور الزرنيخات . وقامت انماط اخرى للانتاج التجريبي فقدمت دلائل مهمة حول اصل بعض البنيات المتناهية الصغر الملحوظة داخل الركازات المعدنية ، أو حول ظروف تشكل ركازاتها المكونة لها . واهتمت بحوث اخرى بظواهر الاستبدال في الركازات السولفورية ، وامكن استحداث بنيات صغيرة جداً مماثلة للبنيات الميكروسكوبية الملحوظة في الطبيعة .

وفي مجال نشأة الصخور ، بدت البحوث التجريبية التي قام بها ج . موروسويز (1898) وج . هـ . ل . فوغت (1924) ون . ل . بوين ، وو . ايتل وب . غريغوريف وو . ف . توتل حول نتائج الركازات في الماغمايت بواسطة الطريقة الجافة ، حاسمة .

ان دور الماء كمركز ، في الحالة ما فوق الحاسمة ، بحضور الاملاح القلوية ، والذي اثبتته ش . وج . فريدل (1890-1891) قد ثبت وتوضح بفضل تجارب ج . و . موري وايرل انجرسون (1937) وش . ج . فان نيونبورغ (1932-1935) الذين بينوا الحركية الكبرى في السيليس وامكاناته التفاعلية في الظروف المائية الحارة تحت الضغط . وتركيب ركازات من الصلصال قد تحقق بنفس الشروط على يد و . نول (1935-1936) ومن قبل ر . روي (1950-1961) .

استعمل آ . ميشال - ليقي وج . ويارت (Wyart 1948-1938) درجات الحرارة المرتفعة والضغطات العالية الحاصلة في انفجار المتفجرات ، فاستحدثا ركازات متنوعة ظهرت في التغيرات التحولية (Métamorphiques) . ونحت ظروف تجريبية اخرى ، استحدثت مدام كريستوف ميشال ليقي (1953-1957) سلسلة من السليكات التحولية وأعادت تكوين تجمعات معدنية طبيعية . وأجرى ج . ويارت وهـ . ج . ف . ونكلر بحوثاً مثمرة حول التحولات التحولية في بعض الصخور الصلصالية ، في حين حقق س . كايروس . هنين ، وج . اسكيفن تركيبات لركازات من الفيليت (1948-1951) . أما مسألة الصلصال الألومينية الخالصة فلم يمكن حلها حتى الآن .

ان هذه النتائج ، في مجملها ، الحاصلة عن طريق التجريب تثبت الفرضيات التي قدمها في الماضي علماء التعدين وعلماء وصف الصخور بعد مشاهداتهم على الأرض .

استنتاج - ان النمو العجيب للعلوم التعدينية ، وخاصة منذ مطلع القرن العشرين ، يدل على الدور الاساسي الذي تلعبه هذه العلوم ضمن علوم الأرض . . ان عالم الركازات ، بفعل بحوثه حول الابنية البلورية ، يحتل مركزاً مميزاً ، يسمح له الامساك - بشكل افضل من غيره ربما - بوحدة هذا المجال الواسع من المعارف والعلاقات المتبادلة القائمة فيما بينها . ان الابنية البلورية تشكل بهذا الشأن احد مجالات التلاقي ، أو « عقدة » لمختلف مظاهر تبادلات الطاقة التي درستها الكيمياء الفيزيائية والحرارة المتحركة (ترموديناميك) خاصة اذا نظرنا الى البلور لا بذاته ، بل تبعاً للخصائص الفيزيائية الكيميائية ، الموجودة في الوسط حيث يتكون البلور وحيث يتطور .

الفصل الثالث

الجيولوجيا

لقد انتهى القرن التاسع عشر في شبه فورة عامة . لقد اقتنع عالم العلم انه حلّ المسائل الاساسية . ان البعثات العلمية البعيدة قدمت توثيقاً ضخماً ؛ فقد تم نشر خارطة جيولوجية للأرض . واستطاع ادوار سويس Sues ان يكتب « وجه الارض » وهو كتاب ضخم عالج جميع المسائل الجيولوجية .

في الواقع لم يكن العالم يعرف الا قسماً من اوروا ومن اميركا الشمالية ، وبعض اللمسات عن القارات الاخرى . وكان علم وصف الصخور يتلمس طريقة بمشقة . وقيت الاحاث (علم المتحجرات) Paléontologie وصفية تماماً . كما بقيت الفرضيات والنظريات أساساً غير أكيد لكل البنيوية الاديمية (Tectonique) .

وسائل الاستقصاء الجديدة - كان علماء الجيولوجيا في القرن التاسع عشر وصاداً ممتازين ، ولكنهم قلماً عرفوا غير مطرقتهم كوسيلة استقصاء . ان التحليل الكيميائي ، والفحوصات الميكروسكوبية وتحديد المتحجرات ، وتفحص مسار القشرات الجيولوجية ، كانت تكمل توثيقهم ، وهذه شكلت علمهم الاساسي كما أتاح وضع سلم طبقاتي [تسلسل طبقات الكرة الارضية] .

في القرن العشرين ، تكاثرت وسائل التفصي . واضطرت الجيولوجيا إلى توسيع إعلامها وإلى استعمال طرق العلوم الاخرى ، بل وحتى طرق الصناعة . وفي هذا حدث جديد ، تميز به القرن العشرين . ان الاحتياجات التقنية ، والدور المهم الذي لعبته الجيولوجيا في الحياة العصرية قد أثارت بحوثاً دقيقة ، تتجاوز دراسة التلامس الصخري .

ان البحث عن الماء ، وعن الركازات ، وعن الفحم ، وخاصة البحث عن البترول ، قد اقتضى دراسة باطن الارض العميق الذي لا تطله الملاحظة .

الحفر العميق - ان ممارسة الحفر العميق ، المعروف منذ أكثر من ألفي سنة ، في الصين قد انتشر في الغرب في القرن العشرين . والرقم القياسي الحالي يعود إلى اميركا حيث امكن

التوصل الى عمق 7728 متراً في سنة 1958 في بيكوس كونتي ، في غرب تكساس ، (نيسو مكسيكو) .

ان الآلات الحديثة تضمن « انبواً جزرياً » يتيح الصعود على عامود من المواد والمعدات . ودراسة الصخور والمحتجرات (المتحجرات الميكروسكوبية خاصة) التي تم الحصول عليها اثناء الحفر قد خدمت علم قشرات الارض (ستراتيجرافيا) وعلم البنية الاديمة : وهكذا توصل الرصد الى اعماق لا يخالها الانسان .

لقد امتد الحفر فطال اعماق البحار . واستعمل الاميريكيون والسوفييات والاسكندنافيون الانابيب الجزرية التي تستطيع استخراج ما يقارب من عشرين متراً من الرسوبات المتحركة ، مما قدم للمختبر عينات من تشكيلات من العصرين الرابع والثالث ، بدلاً من الوحول البحرية الحديثة التي تجمعها الحفارات .

وحمل تحسين التقنيات مجموعة من العلماء الاميركيين ، بقيادة و . باسكوم Bascom على وضع مشروع ضخيم مشهور ، هو « المو هول » . وكان القصد اجتياز القشرة الارضية وملامسة « المعطف » تحت خط التقطع الذي قال به موهوروفيتش . ان هذا الخط موجود على بعد حوالي اربعين كيلومتراً تحت القارات ، انما على عمق سبعة أو ثمانية كيلومترات فقط تحت اعماق المحيطات .

وتكمن الصعوبة في تحقيق حفرة عميقة في قاع المحيط . وجرت المحاولات الاولى سنة 1961 . وتم بناء سفينة خاصة وجرت محاولات حفر في المحيط الباسيفيكي على بعد 220 كلم من الشاطئ الغربي من المكسيك . وامكن انزال 3900 متراً من الاعمدة السابرة وحفر 150 متراً داخل صخور الاعماق ، حتى تم الوصول الى طبقة من البازالت . وتمت المحاولة عدة مرات . وكان لابد من حل مشكلة رئيسية ؛ كيف يمكن تغيير التوزيع الماسي عندما يبرى دون اخراج الجذع من ثقب الحفر ؟

وكان الاتحاد السوفياتي ، من جهته ، يقوم بمشروع سلسلة من الحفر في عدة أماكن أرضية حتى بلغ عمقاً يتراوح من 10 إلى 15 كيلومتراً .

الرصد الجوي - وكما تغطي الاشجار الغابة . كذلك الرصدات التفصيلية ، على الارض ، تخفي الاحداث المهمة : ولهذا تكتشف على الخارطة احياناً وقائع لم تعين على الارض .

لقد اخذت الجيولوجيا الجوية اهمية كبيرة . ان التصوير الجيولوجي والرصد يسهلان وضع خرائط طوبوغرافية وجيولوجية ، تتيح بشكل خاص تمييز الشقوق غير المرئية في الارض . ثم ان الطائرة أو الهليكوبتر تتيح التنقل السريع وتتكيف مع استعمال بعض الطرق الاستكشافية الفيزيائية الارضية .

الجيوفيزياء أو علم فيزياء الارض - ان طرق الفيزياء التي قلما كانت تستعمل في الماضي

في الجيولوجيا الا بواسطة الميكروسكوب اخذت تلعب اليوم دوراً اساسياً في الفرعين الاساسيين من فروع الجيوفيزياء : علم الهزات « سيسمولوجيا » والاستكشاف . لقد أنشأ المهندس الفرنسي كونراد شلومبرجر (1878-1936) فيما بين سنتي 1912 و 1930 ، اساليب في الاستكشاف غير المباشر ، بفضل طرق فيزيائية تقدم بعض المعطيات التي أولها الجيولوجيون ، فاعطت فكرة عن بنية باطن الارض . فالانكليز والالمان والاميريكيون والروس قد دفعوا الى الامام هذه الفيزياء الارضية الاستراتيجية والادمية التي تستعمل اربع طرق رئيسية ⁽¹⁾ :

1- الطريقة الغرافيمترية التي تتيح اكتشاف بعض البنيات العميقة بفضل تسجيل شذوذات الجاذبية الارضية .

2- الطريقة الزلزالية التي تدرس انتشار وانعكاس وانحراف الموجات الانفجارية (ب . غاليزين Galitzine , 1914 ، الخ) .

3- الطريقة الكهربائية ، المرتكزة على اختلاف قابلية التوصيل الكهربائي في مختلف القشرات التي يمكن الوصول إليها من القشرة الارضية (ش . شلومبرجر ، 1912) .

4- الطريقة المغناطيسية التي تتيح وضع خرائط بالاستثناءات أو الخروقات المغناطيسية التي يتسبب بها عموماً وجود كتل مهمة من ركاز الحديد (ل . اوتفوس L. Eötvös , 1896 ، ش . هيلاند Heiland , 1926 ، الخ) .

وأخيراً تتيح الجيولوجيا الاشعاعية Radiogéologie اكتشاف الركازات المشعة التي لا تراها العين المجردة .

ان هذه الطرق المختلفة ، التي يستخدم بعضها بالطائرة ، قد قدمت العديد من العناصر الجديدة سواء من أجل الاستكشاف ام من أجل الجيولوجيا ، احدثت كشفها الاسبار العميقة .

وقدم علم الهزات أو الزلازل معلومات أخرى حول بنية الكرة الارضية التي ظهرت ، في نظره ، كجمع لأوساط مختلفة ، بشكل كرات متراكبة بعضها في بعض ومنفصلة عن بعضها البعض بفواصل وتشققات :

1- تقسم القشرة الارضية إلى منطقتين : قشرة عليا ، صوانية - الوينية تسمى السيل Sial ، سيل سويس ، وهي سميكة بما يقارب الثلاثين كيلومتراً وكثافتها تساوي 2,6 ؛ ثم فاصل ، ثم قشرة دنيا صوانية مغنيزية ، هي السيمما Sima ، مكونة من صخور اثنل ، من النمط البازالتي . وفي أساس هذه القشرة يوجد فاصل موهورفيتش (حوالي أربعين كليومتراً تحت القارات) .

2- ثم « معطف » من الصخور « فوق القاعدة » ، من نمط الدونيت dunites ، محلود في اسفله بفواصل رينتي (حوالي 980 كلم في العمق) .

(1) تراجع ايضاً حول هذه المسألة دراسة ب . تاردي (الفصل الاول من هذا القسم) .

- 3- كرة وسيطة محدودة الاسفل بفاصل غوتنبرغ (حوالي 2900 كلم) ؛ .
4- النواة المركزية التي بلغ ثقلها النوعي في وسط الارض 17 ، تحت ضغط يبلغ حوالي 3,5 ملايين جوية .

ان هذه اللاتحة ليست نهائية ، ولكن هناك نقطتين تستحقان الذكر . في بادىء الامر بين علم الزلازل انه زيادة على الهزات الأرضية ذات المراكز الكائنة داخل القشرة الأرضية ، بقرب الشواطىء والاغوار المحيطية ، يوجد تحت القارات بؤر يبلغ عمقها حدود 700 كلم . ويمتد مجال البنيوية الاديمية ، إلى أبعد من القشرة الأرضية ، حتى يبلغ « المعطف » . فضلاً عن ذلك ان فكرة « النار المركزية » قد زالت ، فالحالة الفيزيائية للمادة في مركز الارض مجهولة من الناحية العملية .

ان الطرق الفيزيائية قد قدمت الكثير من العناصر لدراسة المحيطات .
والاسباب بما « فوق الصوت » اتاحت الحصول على جوانب صحيحة واتاحت اكتشاف تفرس تحت بحري مجهول تماماً ، مع سلاسل غارقة واغوار من عشرة الاف متر . وامكن وضع خارطات جميلة جداً للهضبة القارية ، كما امكن تبين ان اشكالها هي اشكال منظر قاري خاضع للحت الفضائي ، عند حصول التراجعات البحرية . وأخيراً ان تقدم الفوتوغرافيا تحت البحرية اتاح اخذ صور للاعماق البعيدة .

الكيمياء الأرضية - ان التحليل الكيميائي الجزئي للمركازات وللصخور قد استخدم كاساس لتصنيف هذه المركازات ، كما استخدم لدراسة التركيب الكيميائي الشامل للقشرة الأرضية ، وهو موضوع كان يشغل الجيولوجيا من زمن بعيد ⁽¹⁾ .

منذ 1847 ، قدم ايلي دي بومونت de Beaumont في مذكرة « حول المقذوفات البركانية والمعدنية » معلومات حول « توزيع الاجسام البسيطة في الطبيعة » ، وذكر كتاب مؤلف سابق عنوانه « بحوث في الجيولوجيا النظرية » لـ هـ . تـ دي لايش de la Beche . وفي سنة 1883 قدم آ . دي لاپاران de Lapparent معلومات عن اهمية السيليكات في تركيب القشرة الأرضية .

في سنة 1889 ، عالج العلماء الاميريكيون دراسة هذه المسألة بشكل منهجي . وطيلة سنوات ، تحرى فـ وـ كلارك ومعاونوه ، ومنهم هـ . سـ واشنطن عن كل تحليلات الصخور ونشروا « احصاءات حول الكيمياء الأرضية » ثم ، في سنة 1924 ، كتاب « معدل تركيب القشرة الأرضية » . وادخلت بعض التعديلات على المعطيات التي قدمها كلارك . وفي ألمانيا ، نشر فوغت Vogt مكونات عناصر اكثر ندرة : كالنحاس والرصاص والزنك والكوبالت الخ ، وعالج لوناى de Launay ، بعد ان استخدم معطيات كلارك وفوغت الاولى ، المسألة في كتابه « رسالة في علم التعدين » (1913) .

وفيما بعد ، يجب ذكر اعمال فرنادسكي ، ثم الكتاب الشهير « رسالة في الكيمياء

(1) راجع ايضاً حول هذا الموضوع الفقرة ٧ من الفصل السابق .

الأرضية ، الذي نشر سنة 1937 على يد آ . ي . فرسمان بالروسية . واستخدم هـ . شيندر هوهرن في ألمانيا (سنة 1934) ثم پ . رامدهور (1942) معطيات فرسمان بعد تعديلها قليلاً . ونشر ف . م . غرلدشميت أعمالاً مهمة مرتكزة على التحليل « الطيفي التسجيلي » . وكان « جلولة » الموضوع سنة 1937 ما يزال يحتفظ بقسم من معطيات كلارك وواشنطن ، بعد استكمالها بالعناصر النادرة . ويمكن فيها بعد ذكر أعمال سنديل وغرلدش (1943) ، وأعمال مازون (1952) Mason ثم أعمال الفنلنديين ك . رانكاما و ث . ج . ساهاما (1950 - 1954) .

إن الكيمياء الأرضية قد أصبحت بعدها فرعاً من علوم الأرض . فهي تدرس تاريخ العناصر في القشرة الأرضية وفي الكون بأكمله . ووضعت قوانين توزيع هذه العناصر النوعي والكمي ، وهجراتها .

ومن فروعها علم المآوي المعدنية أو « المتالوجني » (métallogénie) (ل . دي لوناي ، 1908) ، وهو علم يبحث في القوانين التي سادت توزيع وتجمع أو انفصال العناصر الكيميائية في الأقسام القريبة من القشرة الأرضية .

إن غالبية اللوائح الحالية تعطي قياً قريبة حول النسب المئوية لمختلف الاجسام البسيطة ، في تكوين القشرة الأرضية : الاوكسجين 46,66% ؛ السيليسيوم 27,72% ؛ الرومينيوم 8,13% الحديد 5% ، الخ ، حتى الوصول الى مقادير لامتناهية الصغر بالنسبة الى بعض العناصر . وبعض الباحثين ، امثال و . لندغرن (1933) و پ . نيغلي (1948) حسبوا بالوزن (بالملغرام في الطن) . واقترح ف . بلوندل استخدام اللوغاريثم العشري لهذه الكمية والذي يمثل الغزارة النسبية في العنصر المدروس .

ولا يمكن ترك الفصل المتعلق بالكيمياء الأرضية دون الإشارة الى دور التخليق الضوئي Photosynthèse . وانه بفضل ظاهرة التمثل الكلوروفيلي - التي اتاحت للنباتات الخضراء استخدام الغاز كربونيك والاحتفاظ بالكربون ، مع اخراج الاوكسجين - تكون فضاؤنا الذي لم يكن ، في الاصل يحتوي على الاوكسجين .

أما الكربون ، فإن النباتات تستخدمه من اجل تركيب الغلوسيدات ، وهي في أصل المادة العضوية . ومنذاً الى رابينوفيتش (1945) يساعد التصوير التوكيبي في إنتاج 30 ملياراً من اطنان المادة العضوية في السنة ، وهو حدث له أهمية حقيقية على الصعيد الجيولوجي . وتحفظ احتياطات ضخمة من الكربون (الطاقة الشمسية المتحجرة) في الطبقات الجيولوجية بكشل فحم وبتروول .

والى جانب التصوير التركيبي ، تجب الإشارة الى تفاعلات اخرى : التصوير الاختزالي لبعض البكتيريا والخزاز والتركيب الكيميائي للبكتيريا ذاتية التغذية بدون كلورفيل .

وهكذا تبرز أهمية دور الكيمياء الأرضية ، وهو علم تعطيه كتب الجيولوجيا الحديثة مكانة مهمة . ويستخدم الاستكشاف المنجمي موارد الكيمياء الأرضية ، وكذلك موارد البيو- جيوكيمياء

بتعبير بعض الاملاح المعدنية ، الموجودة اما في الصخور ، واما في الانسجة النباتية العائشة بقرب الملاحيء المعدنية غير المرئية . ان اهم مراكز نشاط البحث في هذا المجال تقع في الاتحاد السوفياتي ، وفي الولايات المتحدة ، وفي كندا وبلجيكا واسكتلندا .

تصنيف الصخور - ان تصنيف الصخور هو أحد المجالات الأكثر غموضاً في الجيولوجيا . وتوجد تصنيفات متنوعة موضوعة وفقاً لمعايير مختلفة ، يطبق بعضها بصعوبة على مجمل مجموعة الصخور المدروسة ؛ ويدخل فيها الرصد ، والوصف ، والتحليل الكيميائي والميكروسكوبي . وهناك اليوم مسمى لوضع تصنيف اقل اصطناعية ، مرتبط بولادة الصخور ، وبأسلوب استقرارها .

الصخور البركانية - من أوائل التصنيفات ، تصنيف فوكي Fouqué (1879) وميشال ليفي (1879) المرتكز على التركيب التعديني وعلى النسيج والذي يبقى عملياً وشائع الاستعمال . وبعدها تم اقتراح تصنيف اميركي ، كيميائي خالص (C. I. P. W. 1902) ثم تصنيف آخر كيميائي - تعديني (تروجر Troger 1930) . ان تصنيف آ . لاكروا (1933) المرتكز على الخصائص الكيميائية ، وعلى التركيب التعديني وعلى النسيج ، هو الاكمل ، ولكن استعماله اصبح صعباً وتجرديداً ، من جراء ان التحليل الكيميائي يؤدي ، ليس فقط إلى تعريف الركازات المرصودة ، بل إلى تركيبات محتملة محسوبة . وترتكز طريقة القواعد الجزيئية التي وضعها ب . نينجلي (1933-1936) على كون العديد من الاتحادات المعدنية (أو القواعد) تعطي نفس التركيب الكيميائي ، في حين تظهر كل صهارة اتحاداً خاصاً (أسلوبها) بالركازات .

ونجد مفهوم الوجه الركازي الذي قال به اسكولا (1921) ، المحدد بدرجة حرارة ، ومضغط منطقتة الاولى ، كما نجد مفهوم الوجه الصخري الذي قال به شاند (1950) . وذكر هـ . وج . ترميه (1956) كم بقي تصنيف الصخور وصفاً دون اي « امتداد فيما يخص التعاطف الحقيقي وفيما يخص ولادة الصخور » . وقد ركزا على ان علم وصف الصخور يجب ان يستند على ظاهرات طبيعية مثل ولادة الصخور ، وعلاقاتها بتطور الكرة الصخرية ، مما لا يستبعد ابداً الصفات الكيميائية - الركازية .

وونما عودة الى النظريات المتعلقة بتشكل الصخور البركانية التي سبق ذكرها نذكر ان الدراسات الحديثة حول الترموديناميك العميق في القشرة الارضية قدمت اراء جديدة حول هذا الموضوع (ل . غلانجو، 1956-1960) ، وهي فرضيات بدت مدعومة بالتجارب حول التركيب النسيجي الغرائتي (ج . وبارت وج . ساباتييه، 1956-1959 ؛ هـ . ج . ت . ونكلر ، 1957-1958) .

الصخور التحولية (ميتمورفية) - اعترضت تصنيف الصخور التحولية ، ولمدة طويلة ، صعوبات خطيرة . ان هذه الصخور ، التي تحتل مكانة مهمة على الارض ، قد اصابها التبلر واصابها توجه العناصر واصابتها غالباً بمادلات في المادة وتغيير في تركيبها الكيميائي الاصيل .

ونميز بين تحولية تلامس يحدثها اتصال صخرة بركانية بالصخرة المغلفة ، فيحدث « تحول

ناشط ، (دينا مو - ميتامورفيسم) يثري ضغط الظواهرات الاديمية ، وتحول اقليمي يستفيد من الحرارة ومن الضغط العمقي .

وميزج . جونج وم . روك عدداً من المناطق ، المتزايدة الحرارة ، وفسراً تشكل الميكاشيست العليا والميكاشيست السفلى ، والنياسات (gneiss) العليا والنياسات السفلى . وهنا حصل الانضمام الى دراسات الترموديناميك العميق التي سبق ذكرها .

الصخور الرسوبية - ان علم وجنس الصخور الرسوبية مدين كثيراً للأعمال التي قام بها ل . كايو Cayeux ، الذي نشر بين 1897 و 1942 ، مذكرات مهمة حول الصخور الفحمية وحول الصخور الصخرية حول ركازات الحديد والفوسفات .

وطوط طرق جديدة لدراسة علم الترسيب مستخدمة المورفوسكوبيا [مراقبة التشكل] والغرانولومتريا [قياس الحبيبات] وفحص الركازات الثقيلة وركازات الصلصال . وقد ساهم العديد من علماء الجيولوجيا والتعدين من مختلف البلدان في هذه الدراسات التي جمعت خلاصتها في رسالة وضعها كرومين Krumbein وسلوس Sloss (الستراتيغرافيا والترسيب ، نيويورك 1951) .

وفي التصنيفات الرئيسية للصخور الرسوبية ، يمكن ذكر بعض الالتباس حول معنى ومدى معايير التجميع الوصفية والوراثية ، يضاف إليها التحليل الكيميائي (آ . لومبارد 1949 - 1956) .

وتوجد تصنيفات نوعية تتبع معايير وصفية ، تكبيرية وتصغيرية (ماكرو - وميكروسكوبية) وكمية سناً لمعايير كيميائية ، ثم القياس الحبيبي (Granulométrie) . ولكن التفصيل لا قيمة له الا اذا وضع ضمن المجمال ، ضمن وسطه الوارثي ، اي ضمن مستودع جيولوجي طبيعي . اما المعايير الوصفية الولادية ، فيجب ان يمكن تطبيقها على صخور من كل الاوجه ، من كل الاوساط ومن كل الاعمار . تضاف إليها معايير إضافية : التركيب الكيميائي ، البنية الميكروسكوبية ، النسيج والمعطيات الستراتيغرافية والتكونية والكرونولوجية (التاريخية) .

وينزع المؤلف نحو تصنيف تغلب عليه الوراثية ، محكوم برصد الظواهر القائمة التي تتيح عادة تكوين المساحات الكبرى المتنوعة من الترسبات القديمة . ان تواصل علم الترسيب الحالي علم المحيطات ، وعلم وصف الصخور الرسوبية قد أصبح الآن ثابتاً .

ومن عهد قريب (1956) ركز هـ . ارهارت Erhart على دور تكون التربة المرتبط باتساع لغابات ، ففسر كل الترسيب القاري والبحري . ان هذه النظرية الجديدة المرتكزة على دور (التوازنات) وعلى « اختلال التوازنات » البيولوجية ، بخلاف الازمنة الجيولوجية ، تستحق محلاً ضمن هذه المحاولات من اجل وضع تصنيف جيولوجي .

علم الاحاث وعلم طبقات الارض (ستراتيفرافيا) - ان علم الاحاث (أو علم المتحجرات) والستراتيفرافيا قد حققا مستوى عالياً من التطور في مطلع القرن العشرين . وفي حين عرفت احاث

الفقرات نهضة خاصة⁽¹⁾ تأكدت أهمية اللافقرات . فكانت دراسة متحجراتها في اساس علم طبقات الارض (الستراتيغرافيا) .

واعيد النظر في كل المجموعات الكبرى ، في كل بلدان العالم ، وظهرت دراسات متخصصة ، تكمل الى حد بعيد ما كان معروفاً . انه في القرن العشرين فقط بدأت حقاً دراسة المتحجرات الميكروسكوبية : المنخربات الميكروسكوبية ، السوطيات ، والمخروطيات ، والغبيريات واللقاحات . فعدا عن اهميتها الخالصة ، بلدت هذه المتحجرات الميكروسكوبية ضرورة لوضع ولانشاء الستراتيغرافيا ، في حال غياب المتحجرات الكبيرة ، خاصة في عينات من التراب .

وكانت الانجازات في حقل المتحجرات ضخمة . ومن بين الانجازات ، تذكر اعمال آ . سيوارد Seward (1933) ، واعمال هـ . پوتونييه Potonié وور . غوثان Gothan (1921) ، وو . ش . داراه Darrah (1939) ، ول . امبرجر Emberger (1944) ، كما تذكر « رسالة الاحاث النباتية » التي نشرت باشراف آ . بورو Bourreau .

ان الستراتيغرافيا بعد ان ارتكزت على معرفة جيدة بالمتحجرات الحيوانية والنباتية ، اخذت تتكامل باستمرار ، مغتنية بمعطيات علم الترسبات ويعلم المتحجرات البيئية Paléocologie ويعلم الحرارة الإحاثية Paléo-température الخ .

علم التأريخ الارضي والنشاط الاشعاعي - بعد النظريات الاولى التي صاغها الجيولوجيون في القرن التاسع عشر ، ادى اكتشاف النشاط الاشعاعي (1896) الى ان يجعل من علم تاريخ الارض علماً يحق . من المعروف ان الاجسام النشطة الاشعاع عندما تتفكك تولد عناصر جديدة ، والنسبة المئوية من الذرات التي تتحول بخلل الوحدة الزمنية ثابتة لا تتغير . وفكرة مدة الحياة باشر بها پ . كوري سنة 1902 ثم وضحها رودفورد الذي اقترح كمعيار مدة حياة الراديوم : 1590 سنة (وهي المدة اللازمة لكي يتفكك نصف الذرات) .

ويوجد بشكل خاص عناصر مشعة ناشطة يؤدي تفككها ، مع انتاج الهليوم (اشعة الفا α) الى وجود نظائر من الرصاص الطبيعي البدائي (²⁰⁴Pb) ، وذلك ضمن نسب محدودة في زمن محدد . ان نسبة مختلف النظائر الموجودة ضمن عينة معينة من الرصاص يمكن أن تمكن ²⁰⁸Pb من تحديد عمر هذه العينة ؛ ويث الهليوم يمكن ايضاً ان يقاس ، وكذلك الاورانيوم الباقي .

من ذلك ان ركاز رصاص افريقيا الجنوبية يحتوي 12,65% من الرصاص (²⁰⁶Pb) ؛ 14,27% من ²⁰⁷Pb ، 23,78% من ²⁰⁸Pb ، وقد حدد عمره بثلاثة مليارات سنة (مع وجود خطأ محتمل مقداره 10%) .

(1) راجع حول هذا الموضوع دراسة ج . بيغوتو (الفترتان II و III ، الفصل V من القسم الرابع) . ان انجازات الاحاث عند اللافقرات قد رسمها آ . تيتري (الفقرة III ، الفصل III من القسم الرابع) ؛ وانجازات المتحجرات النباتية وصفها ج . ف . ليروا (الفقرة I ، الفصل VIII من القسم الرابع) .

ان هذه الطريقة قد طبقها آ . هولمس (1937) وف . ي . ويكمان (1939) الخ . ثم هناك طرق السترونشيوم وروبيديوم Strontium - rubidium (آهرنس 1948) ، والهليوم ، الخ . ، التي لم تنتج تحديد عمر الصخرة بل عمر الركاز . ففي حالة الخيط القشروي الارضي ، تكون الصخرة الحاضنة اقدم بالضرورة .

ان هذا الاسلوب الجديد في الحساب يؤدي الى العودة بتحجر الكرة الارضية الى حدود خمسة مليارات سنة . ان بداية الحقبة الكمبرية المحددة في اساس الازمنة الاولى يمكن ان تحدد عند 600 مليون سنة ، والازمنة السابقة على الكمبرية « ترتدي بالتالي اهمية ضخمة ففيها تكتشف اثار سلاسل الجبال القوية جداً ، كدليل أو مؤشر على دورات الثورة الجبلية المتعددة ، التي ما تزال صعبة التتبع والعزل .

وتطبق نفس الطريقة بنجاح على العصر الاحداث : الاول والثاني والثالثي ، وهي تؤمن حياة جديدة لمعطيات الستراتيغرافيا والبنوية الاديمية والتكتونيك . ان الالاف الخمسة عشر أو العشرين الاخيرة تستفيد من طريقة الكربون المشع التي طبقها و . ف . لبي ابتداء من سنة 1949 .

ان الاشعة الكونية تنقل الازوت الفضائي وتحوله الى كربون -14 الذي اذا اندمج بالاكسجين يعطي قسماً ضئيلاً من الغاز كربونيك من الهواء الذي تمتصه الاجسام . وانشاء دفن يتفكك الكربون ^{14}C ويعطي آزوت (نيتروجين) وأشعة بيتا (B) ، في فترة تبلغ 5760 سنة . ان قياس معيار ^{14}C لكربون [فحم] عضوي حديث نسبياً (خشب قوقعة ، الخ) ، يتيح بالتالي تحديد تاريخ هذا الكربون .

ان هذه الطريقة تطبق اليوم في علم الاثار وفي جيولوجيا العصر الرابع الحديث .

علم البنوية الاديمية - هو فرع خاص من الجيولوجيا يدرس هندسة القشرة الارضية ، وتشوهاتنا وولادتها . وقد ازدهر هذا العلم ازدهاراً بالغاً في القرن العشرين .

ان الانحناءات والتقنيات التي تؤدي الى تكوين سلاسل الجبال تدل على اضطرابات غير عادية وهي اضطرابات ولدت فكرة الكوارث والفواجع المفاجئة .

وبالنظر المتمهل الى امكانية حدوث الظواهرات الحالية ، والى الزمن على الصعيد الجيولوجي ، تبين ان الهزات الارضية تحدث تشققات ، وزياحات عامودية وتماسية وان الكثير من ارجاء الكرة تظهر نشاطاً تقببياً أو غورياً de Subsidence ملحوظاً على الصعيد البشري ؛ وتبدو الحركة البركانية كظاهرة في كل الازمنة .

وفيما خص الجبال (التي يكشف لنا حتما عن بنيتها الداخلية) يتوجب القيام تدريجياً بتحليلها قسرياً وهندسياً . والتحليل الهندسي لا يقتصر فقط على وصف التعاريج ، بل يجب اعادة تكوين حالتها الاولى ، ودراسة حركتها ، وولادتها وتطورها ، مما يقتضي قسطاً من الخيال ،

المرتکز بقوة على المعطيات التنصّدية (الستراتيغرافية) ، والمرتكز على مبادئ ميكانيك الجوامد القابلة للتغير في شكلها .

ويظن اليوم ان ظهور سلاسل الجبال ليس حدثاً عارضاً في حياة الارض ، بل مظهر دوري ، معروف منذ الحقب الاولى في تاريخ القشرة الارضية . ان تفحص المنطقة العميقة من السلاسل المتتالية يؤدي دائماً إلى نفس المسائل المثارة في علم وصف الصخور وفي الفيزياء الارضية وفي الترموديناميك .

وهكذا نجد أنفسنا امام مظاهر دائمة ، انما بطيئة للغاية (من عيار مليمتر أو احياناً من عيار سنتيمتر في السنة) تدل على نوع من النبض الداخلي في الكرة . ان التاريخ الكامل لسلسلة من الجبال يتفاعل ويمتد فوق عشرات الملايين من السنين ويعمل علم التنصّدرات (الستراتيغرافيا) على إعادة تكوين شروط الترسيب ويحدد العمر النسبي للحركات منذاً إلى الاختلاف في الرسوبات أو إلى صفتها الأكثر حثاً .

وكون هذه الرسوبات قد استقرت عادة في منطقة محيطية قليلة العمق يقتضي وجود حفر في حالة الانهيار ومناطق غائرة de Subsidence (پ . بروفوست Pruvost ، 1930) . ان بعض هذه الحفر اطلق عليها اسم المنخفض العظيم الاغوار «géosynclinaux» ، والفكرة من وضع جيمس هول 1859 والكلمة وضعها ج . د . دانا سنة 1873 ، ولكن هذا المعنى كان موضوع تأويلات مختلفة جداً ومتناقضة في اغلب الاحيان ؛ يرى ج . أوبوين Aubouin (1961) ان الغور هو كمجمل متحرك من التجمّعات ومن الاثلام ، تغنيه ماغماتية سيمية (Simique) خاصة .

كيف يمكن تفسير ان ترسبات سماكتها تتراوح بين 10 و 12 كلم ، كالتي دخلت في بناء جبال الالب والحملايا ، قد استطاعت الصعود من هذه الاغوار ؟ لقد اهتم العديد من الجيولوجيين بهذا البحث عن الاسباب وعن القوى . ويبدو ان الترسيبات المشدودة نحو الاعماق قد وصلت الى مناطق تحويلية عامة ، [تغير في الطبيعة métamorphose أو تغير في تكوينها وفي تسجيلها métasomatismes] ، حيث تغير بالضغط وبالحرارة ، فتتعرّج وتصعد الى السطح وإلى ابعد من السطح بحركات عمودية بشكل خاص . اما الصخرة الاساس العميقة ، فبحكم عدم تثنيها ، سواء كانت غرانيتية أم صوانية (منسية) فقد تتشقق فتصعد قاذفة الغطاء الرسوبي الطري . وهكذا نميز بين بنوية أديمية عميقة وبنوية أديمية سطحية .

ويؤدّي التقب الى حت ناشط ، وإلى زحول وإلى تثنيات جديدة . والزحول قد يرتدي الكثير من الاهمية ؛ ان « برك النقل » ، التي ظلت لمدة طويلة بدون تفسير ، تنتج عن انسياب بفعل الجذب الارضي فوق اساس زاحل ، كما الصلصال الجسي في الترياس Trias (نظرية شاردت Schardt ، المعتمدة غالباً في أيامنا) .

ان هذه الاحداث المتنوعة (الثغور ، الزحل ، التقب) تتطلب قوة محركة على مستواها . وقلت فرضية التفصل ثلاث نظريات اخرى هي : طفقارة القارات ، تيارات الهواء الساخن والتحولية المولدة للتثني .

طفاوة القارات - ان هذه النظرية ، المرتكزة على مفهوم التضاعط ، ثم على فكرة النزوح الافقي للقارات (تابلور ، 1910) قد طورها سنة 1911 العالم الفيزيائي الارضي الالمانى آ . ويجينر Wegener . وهى تفترض ان كل القارات كانت مجتمعة في العصر قبل الكامبريان ، وانه بخلاف الازمنة تشققت القارة الواحدة وان اجزاءها المكونة من « سيال » Sial (قشرة) خفيف ، انطلقت هائمة فوق « ميما » Sima ، اكثر كثافة ولزجاً . وانشاء تنقلها قذفت القارات الرسوبات امامها فاوجدت المضائق الجبلية . اما التغيرات في المناخ فهي قد نتجت عن تنقل القطبين والقارات .

اغرت هذه الفرضية الكثير من علماء الاحياء ، ولكن الجيولوجيين ، والفيزيائيين الارضيين رفضوا اعتمادها كما هي لاسباب عدة . وبصورة خاصة لم يمكن اكتشاف اية ظاهرة مماثلة ، هامة ، على الصعيد البشري . وأخيراً ، ان ويجينر لم يشر إلى أى سبب ديناميكي ، اما القوة الناقلة وحدها ، المعروفة ، وهي الاندفاع نحو خط الاستواء ، فكانت غير كافية بشكل ظاهر .

تيارات الهواء الساخن - ان نظرية تيارات الهواء الساخن التي عرضها الاميركي د . جريجس D. Griggs (1939) ، من أجل تفسير تقبب تجاويف الترسب ، والطبيعة المتقطعة للظواهر التشقية ، ترتكز على امكانية الحركات الماغماية العميقة جداً وعلى التيارات الهوائية الساخنة التحتية المعزوة الى فروقات في درجة الحرارة ، بين الكتل القارية وتحت المحيطات . ان السيلال المتمثل بتيارات حرارية ، وانتشار كيميائي ، ونشاط اشعاعي ، قادر فعلاً على تغيير الطاقة المتاحة (ج . جوجل Goguel) ، وقد جرّ نحو ائلام من القبب المتشققة بسرعة تعادل بعض السستمترات في السنة . ان مثل هذه الحركات البطيئة ، قد تحدث تحت التشقق المسمى تشقق موهوروفيتش وحتى بعد يعادل الفئ كيلومتر . ان وجود بؤر زلزالية عميقة (700 كلم) يدل على ان هذه المناطق ليست جامدة .

اعتمد هذه الفرضية الجيوفيزيائي الهولندي فينن ماينز Vening Meinesz ، لتفسير شذوذات الجاذبية الارضية في ارجيل صوند Sonde وفي جزر الانتيل . ان التقلبات المتوقعة تحدد دورات ناشطة مدتها 25 مليون سنة ، تفصلها حقبة طويلة من الراحة .

التحولية التي تولد التثنيات - ان الرسوبات المسحوبة نحو القاع ، ائلام التقبب ، تغيير وتحول . في سنة 1934 ، قدم الجيولوجي والمهندس الفرنسي رينه برين Perrin نظرية جديدة تقول بان التحولية لا تعزى الى التثنيات ، بل انها العامل الاساسي في حدوثها .

مع م . روبولت Roubault ، فسرر . برين تشكل الغرائث ، والتفردت بفعل ظواهر الانتشار في حالة الجمودية ، والتي اوضحت بعض انماطها تجريبياً (راجع دراسة ج . اروسل ، الفقرة VI الفصل السابق) . فهو يفترض بهذا الشأن ان مثل هذه التفاعلات حدثت في قاع الحفر التشقية فاوجدت تمددات ومارست ضغوطات تكفي لاحداث تثنيات .

من المعقول ان اياً من هذه الفرضيات لا يتوافق مع الواقع وان كلاً منها يحتوي على جزء من

الحقيقة . ان محاولة التركيب التي قال بها پ . ديف (1933) Dive تدمج نظرية ويجينر مع نظرية التيارات الزلزالية الداخلية .

ان دراسات التشقق هذه قد تابعت في بلدان مختلفة ، ولكن المدرسة الفرنسية كانت ناشطة بشكل خاص ، والعديد من ممثليها الحاليين استمروا في تصوير هذا المجال ببراعة . نذكر أيضاً ان تتبع التطور التشققي قد ادى الى قيام ما يسمى بالنبوية الاديمة الجينية ، وعلى هذا اعدل . مورت تكوين تاريخ الالب الفرنسية (1933 و 1961) .

الجغرافية الاحائية والجغرافية الاحيائية - ان العمل الدؤوب الذي قام به الجيولوجيون من كل مجال قد اتاح إعادة تكوين الجغرافيات القديمة ، وتطور القارات والمحيطات ، والحيوانات والنباتات . ودراسة الرسوبيات تعطي معلومات على نشأتها ، وعن اعماق المحيطات وعن درجات الحرارة الاحائية . ودراسة المتحجرات ، بعد ان تجاوزت مرحلة الكاتالوغ المتهيجية ، اعادت تشكيل الاتحادات الحيوانية والنباتية في علم البيئة الاحائية .

وبصورة تدريجية ، تم تحليل مناطق قارية ومناطق محيطية ، وتحديد التطور ، والهجرات النباتية والحيوانية ، ورسمت خارطات احائية جغرافية ، تمثل حالة الكرة الارضية في حقبة جيولوجية ما .

ان هذه الخارطات غير كاملة حتماً ، اذ ، بفعل الحث ، تبدو المظاهر الحالية ذات اتساع ، احياناً مختلف تماماً عن اتساع البحر الذي قدم هذه المسودعات . ثم ان كل خارطة تهتم بحقبة طويلة جداً اذا نظر الى التحرك الدائم في القشرة الارضية . ان الزمن الرابع ، لوحده ، اي المليون الاخير من السنوات ، بما فيه من تنقلات وتراجعات بحرية ، واتساع جبال الجليد ، والانشقاقات الكبرى ، يتطلب اربع خارطات . فاماذا يقال عن 600 مليون سنة ماضية منذ العصر الكمبري ، والذي يمثل في افضل الحالات بحوالي عشرين خارطة ؟

ان هذه الخارطات رغم عدم وضوحها ، كتلك التي نشرتها الجمعية البيوجغرافية في باريس أو اطلس البيوجغرافية الاحائية الذي وضعه ل . جولود L. Joleaud . يتيح فهم الاتصالات عبر القارات وفيما بين المحيطات ، وذلك بالكشف على بعض العناصر الدائمة أو المؤقتة التي هي ذات أهمية أولية وأساسية .

وهكذا تتميز بعض التروس القارية : سكاندينافيا ، كندا ، افريقيا ، البرازيل ، وغويانا ، وشبه جزيرة الهند والقارة القطبية الجنوبية ، وهي كلها اجتمعت وبرزت منذ نهاية العصر ما قبل الكمبري . ان كلاً من هذه التروس ، التي اجتج طرفها الى حيد ما اثناء الاكتساحات البحرية ، قد احتفظ دائماً بمنطقة ناتئة .

ان مقارنة النباتات والحيوانات ، في مختلف التروس ، تؤكد ، انه في بعض الحقب ، وجدت اتصالات فيما بينها ، وبعده أشكال . من ذلك ان برازخ نصبت « جسوراً » دائمة أو مؤقتة ، مثل برزخ (بيرنغ) Bering (وهو مؤقتاً مضيق قليل العمق) الذي اتاح اتصالاً ارضياً سهلاً بين

اميركا الشمالية والافارة الاسيوية الاوروبية بخلال قسم من العصر الثالث والرابع . وهذا الحدث يؤكد تشابه وتمائل الحيوانات . اما برزخ بناما ، فقد ظهر على الاقل مرتين وان زواله بخلال قسم من العصر الثالث يفسر العزلة والتطور الفريد في الحيوانات في اميركا الجنوبية .

ان تماثل الحيوانات والنباتات القديمة يقتضي علاقات اخرى ، و « جوراً » اخرى . من ذلك ان نباتات غلوسوبترس (الجناحيات اللسانية) *Glossopteris* في اوسترااليا ، وافريقيا الجنوبية ، واميركا الجنوبية ، والقطب وجزيرة الهند تقتضي وجود اتصالات بين هذه التروس . وكلها موجودة جنوبي البحر المتوسط في العصرين الثاني والثالث المسمى تيتيس (Téthys). من هنا اتت فكرة قارة ضخمة متميزة بنباتاتها وحيواناتها (من الكاربوني الى البرميان) ، سميت « غوندواني » *Gondwanie* ، دونما اي اتصال باوروبا . الواقع ان اكتشاف بقايا السلاسل الهرسينية شمال - جنوب قد اتاح تفسير كل الاحداث المرصودة (ر . فورون وج . مليوت) ثم اتاح اثبات ان ال « غوندواني » لم يكن لها وجود بهذا الشكل . وقد حاول بعض البيولوجيين ان يفسروا المعطيات الاحاثية بنظرية طفافة القارات ، ولكن استحالة هذا التأويل قد ثبتت بسهولة .

ان دراسة الحيوانات والنباتات بخلال الأزمنة الجيولوجية جرت الى العصر الرابع ، الى المجال الحالي لعلم الجغرافية الحيوية . ان هذا العلم لا يأخذ كل معناه الا اذا حاولنا فهم اسباب التوزع الحالي عن طريق دراسة المخارط الجغرافية الاحاثية والاحاثية البيوجغرافية ، وبمفحص البقايا المتحجرة من الحيوانات والنباتات التي عاشت في أمكنتها بخلال الازمنة الجيولوجية .

وعندها نرى الدور المهم للجليديات في العصر الرابع بخلال توزع الحيوانات والنباتات المعتدلة الحالية ، وهي جليديات ادت الى سلسلة من عمليات الهرب والابادة ، ومن الهجرات الجماعية ، معقوبة بعودات غير كاملة . ولفهم هذا التوزع ، يجب تتبع - ابتداء من العصر الثالث - كل نتائج التطور المناخي ، وهو عمل جذاب يبين كم ان الحاضر مرهون بالماضي ، الذي أعيد تكوينه بصبر وجلد بفضل الدراسات الاحاثية البيئية .

الخارطات الجيولوجية للعالم والمعمجية أو المصطلحات الستراتيغرافية [علم طبقات الارض] - ان محولات القرن التاسع عشر من اجل وضع خارطة جيولوجية للعالم كانت مبكرة وسابقة على وقتها لان ثلاثة ارباع سطح القارات كان ما يزال مجهولاً . وبعد الحصول على طرق جديدة في التقصي والتنقل ، ثم تحت ضغط المصالح الاقتصادية ، أنشأت كل البلدان المتحضرة مرافق جيولوجية في عواصمها وفي اراضيها الواقعة وراء البحار . ان البحث عن الركازات الاستراتيجية وعن البترول ، قد عمل الكثير من أجل الاستكشاف البيولوجي للكرة الارضية . ففي بلدان كالبلاد العربية والعراق وفي ليبيا ، قامت بعثات استكشافية بدراسة الجيولوجيا .

وبعض البلدان التي كان يظن انها معروفة كفرنسا مثلاً ، رأت جيولوجيتها تتحسن بشكل ضخم بخلال القرن العشرين ، بفضل رصد السطح أو بفضل الاسبار العميقة . وكان الامر كذلك في كل مكان من اوربا وفوق القارات الاخرى ، التي كانت جيولوجيتها قد شرحت في كتب

اجمالية وعلى خاوطات . ومن اجمال النجلاات كان نشر « الخارطة الجيولوجية الدولية لافريقيا » سنة 1952 ، بمقياس واحد على خمسة ملايين ، في تسع وراقات تتبعها خارطة بنوية (1958) . ان فكرة جيولوجية دولية للعالم بمقياس واحد على خمسة ملايين قد تمت العودة إليها .

لقد تمت المؤتمرات الجيولوجية الدولية نشر « مصطلح ستراتيفرافي دولي » يشرح كل الكلمات المستعملة في مختلف البلدان منذ الازمنة الاولى للجيولوجيا . ان هذا العمل الضخم ، المحقق بمساعدة كل المرافق الجيولوجية في العالم قد نشر في باريس باشراف وعناية ج . روجر Roger والمجلس الوطني للبحوث العلمية C.N.R.S منذ 1958 .

ان الدراسة الجيولوجية للمناطق المحيطية التي تمثل ما يقارب من ثلاثة أرباع سطح الارض قد بوشر بها بواسطة دراسة الجزر والهضبة القارية ، ولكن دراسة الأعماق الكبرى ظلت عملياً غير متوفرة . واذا كانت هذه الأساليب بواسطة المدفع الراتر قد اعلمتنا عن سماكة وطبيعة الرسوبات الاربعة وربما الثالثة ، فان الجيوفيزياء وحدها تتيح التخمين حول طبيعة اعماق المحيطات : « السبال » تحت الاطلسي الشرقي ، « السبما » تحت الاطلسي الغربي والباسيفيكي .

حياة الارض - ان دراسة الظاهرات الحالية قد اتاحت فهم قسم من احداث الماضي الجيولوجي ، وبالمقابل ، ان الدراسات الجيولوجية ، قد اتاحت ، الى حد ما ، تفسير الحياة الحالية للارض ، بفضل إدخال مفهوم الزمن .

ان ظاهرات الترسب والحت ، والبركانية ، والهزات الارضية قد اخذت مكانها منذ زمن بعيد في كتب الجيولوجيا أو الجغرافية الفيزيائية ، ولكن البنية الاديمية بدت بدون اهمية من اجل دراسة الحاضر . ولكن دراسات الجيوفيزياء ، واكتشاف بؤر زلزالية عميقة ، ووضع خاوطات بشذوذات الجاذبية الارضية ، ومفهوم التضاعط في القشرات الارضية دلت كلها على وجود بنوية اديمية حية ، وعلى وجود تشوهات حالية قائمة .

لقد تم رصد تنقلات سريعة في الارض بخلال بعض الهزات الارضية الضخمة ، مثل الزلزال الذي اجتاحت سان فرنسيسكو في 18 نيسان 1906 . وكذلك ، في سنة 1923 ، فقد لوحظ وجود ارتفاعات مفاجئة فوق شاطئ خليج ساغامي (اليابان) . ونذكر ايضاً زحولات ارض ، سواء فوق القارات ام في المحيطات .

والى جانب هذه الحركات المفاجئة ، عرفت تحركات بطيئة جداً . من ذلك ان الترس السكندنافي بعد ان تحرر من نقل « الارض الداخلية inlandsis » الاربعية ، قد ارتفع بمقدار 250 متراً . وهذه الحركة استمرت : سرعتها تساوي 1 ستم بالسنة ، وقد قيست في اولفو Ulfo في خليج بوتنيا .

من المؤكد اليوم ان ظهور سلاسل الجبال يتم ببطء شديد . في اندونيسيا ، وهي منطقة تشيبت ثالثة وحالية ، ارتفعت الجبال بخلال مليون سنة بما يتراوح بين 400 الى 1300 متر ، مما يعني سرعة معيارها مليمتر واحد في السنة . وتدل الارصاد المتوافقة على ان الاقواس الاندونيسية

هي في حالة ثن وان الاغوار الحالية سوف تظهر بخلل حوالي 20 مليون سنة .

ان دراسة الترسب الحالي تدل أيضاً على الدور الكبير الذي تلعبه الاجسام الحية التي ندين لها بصفخامة سماكة الصخور الرسوبية وخاصة الكلسية منها ، وكذلك الصخور ذات الاهمية الصناعية كالصخر والبترول .

وهكذا يبقى كوكبنا حياً ويستمر متطوراً بشكل طبيعي وابطء كما فعل منذ مليارات السنين . ان فكرة الزمن على الصعيد الجيولوجي مهمة للغاية ، لأنها مرتبطة بالمعيار الاشعاعي الناشط وهو الكربون 14 بالنسبة الى الازمنة الحديثة ، والى العناصر الاخرى فيما يعود الى الخمس مليارات سنة من حياة الارض . وتسمح لنا فكرة الزمن أيضاً في تتبع وفي فهم تسلسل الاحداث .

دور الجيولوجيا في الاقتصاد الحديث - تلعب الجيولوجيا دوراً تتزايد اهميته في الاقتصاد الحديث . ان البحث الاساسي قد وجد تطبيقات له آنية مباشرة قدمت بدورها وسائل دراسة في المختبرات .

ان الكشف المنجمي اصبح متعلقاً اكثر فأكثر بمناهج الستراتيغرافيا ، والجيوفيزياء والجيوكيمياء . وكذلك الحال فيما يخص البحث عن مصادر الطاقة كالصخر والبترول ، دون ان ننسى بناء السدود ودون ان ننسى الجيولوجيا المائية . ولهذا تم ، في العديد من البلدان ، اتصال وثيق بين الجامعة والصناعة ، في حين تعلم الجيولوجيا التطبيقية بمختلف مظاهرها في كل الجامعات .

معنى الجيولوجيا المعاصرة - ان الجيولوجيا التي هي بحكم تعريفها علم طبيعي تمتد لتشمل مجالاً واسعاً جداً ولتصبح علماً تركيبياً . انها كعلم للارض ذي حقل يمتد في الزمن وفي الفضاء اكثر من امتداد علم النبات وعلم الحيوان .

إن دراسة الرسوبات ، وهي نوع من علم المحيطات التاريخي تنزع إلى استخدام طرق ومناهج علم السدّم الحالي ثم نقلها الى الماضي . ان دراسة الظواهرات الحالية ، وهي موضوع الجغرافيا الفيزيائية ، والجيولوجيا الديناميكية ، والجيوفيزياء ، تتيح فهم ولادة وتطور الاشكال التي نراها باعيننا : دور الحثّ ودور الترسب فوق القارات ، والهامش القاري ، وحركات البراكين الخ . وبعد الرصد جاء التفسير الفيزيائي والتفسير البيولوجي .

ان دراسة الصخور البركانية تقتضي استخدام التحليل الكيميائي ، ولكنها لا تستطيع الوصول الى مفاهيم معقولة ، الا اذا درسم الصخر تبعاً لموقعه في الطبيعة ؛ ان الدراسة الوصفية للصخور الرسوبية تتجه أيضاً نحو تصنيف وراثي . ان دراسة ولادة الصخور ، وتطورها ، وتحولها وتغيرها يتطلب الاستعانة بالثرموديناميك وبالجيوكيمياء اما الجيوفيزياء فتقدم معلومات حول التكوين الداخلي للكرة الارضية .

وعن طريق علم الاحاث الحيواني والنباتي ، تحاول الجيولوجيا ان تعيد ما كان عليه عالم الاحياء في العصور الجيولوجية . ان هذه البيولوجيا الاحاثية ، او البيولوجيا التاريخية تؤدي الى

البحث عن اصل الحياة فوق سطح كوكبنا ، وهو أصل بعيد جداً سندا للرسوبات وطبيعتها ، هذه الرسوبات التي يمتد عمرها الى مليارات السنين ، ثم تطور هذا الكوكب .

ان دراسة تشوهات القشرة الارضية ، وهي موضوع علم البنيوية الاديمة تتعلق بأن واحد بالمبادئ ومطرق العلوم الفيزيائية (الترموديناميك ، والميكانيك بالنسبة الى الجوامد القابلة للتغيير ، الخ) ، كما تتعلق بدراسات الجيوفيزياء التي تسجل ظاهرات البنيوية الاديمة الحالية ، الحية . ثم ان النشاط الاشعاعي يتيح احتساب عمر الارض ، في حين ان طرق جغرافية الكون أو الكوسموغرافيا ، وفيزياء الكواكب تدمجها في النظام الشمسي وفي الكون . وعلى الجيولوجيا إذا ان تستخدم طرق العلوم الاخرى ، ولكن معطياتها الاكثر خصباً تأتي عن الرصد وعن التأويل لا عن الاختبار . وربما لهذا السبب فقط تبقى الجيولوجيا « علماً طبيعياً » .

وحقل تطبيقها يتجاوز مجال « العلوم الارضية » لانه يقدم تفسيرات تتعلق بالبيولوجيا ويعلم الكون . وكما ذكر ل . غلانجو Glangaud ان طرقها صعبة للغاية ، ولكنها فعالة لانها تطبق بأن واحد « على مواضيع تتراوح أحجامها بين الذرة وبين الكون كما تطبق على احداث يمتد زمنها من يوم واحد إلى مليار سنة » .

علم الفلك

I - مدخل

لقد أعرض فلكيو القرن العشرين قليلاً عن النظام الشمسي ، ما عدا الشمس بالذات ، فبنوا وحلة المجرة ، التي كان يظن وجودها ظناً ، ومنذ قرنين على الأقل ، انما بدون براهين قاطعة . ورسموا تصميمها العام وأبعادها ، والحركات الداخلية فيها ، مجلدين بالنسبة إلى النظام الكواكبي الذي نعيش فيه ، أعمالاً كان كوبرنيك وتيكوبراهي وكيلر قد انجزوها بالنسبة إلى النظام الشمسي . وأكثر من ذلك أيضاً ، بينوا انه مهما أوغلنا في الاستكشاف بواسطة التلسكوب والراديو تلسكوب ، يظل الكون عامراً بالمجرات الشبيهة بمجرتنا . وهكذا امتدت معرفة الكون ، في مرحلتين ، من حدود النظام الشمسي ، الواقع على بضعة ساعات فقط من الضوء ، إلى المجرات الواقعة على بعد المليارات من السنين الضوئية . وإذا كان علم الفلك الجذري الاساسي قد بلغ في القرن التاسع عشر درجة عالية جداً من الكمال ، فالفضل في ذلك يعود من جهة ، إلى تقدّم طرق الرصد ، وإلى بناء دوائر هاجرية ، وساعات ذات دقة عظيمة ، ومن جهة أخرى ، إلى تطور نظرية الكواكب التي فنن لابلان مبادئها منذ بداية القرن . ان النهضة المدهشة في علم الفلك الكواكبي وفي علم الفلك المجري ، وفي علم الفلك خارج المجرة بخلال الستين سنة الماضية ، يعود الفضل فيها إلى توافق ظروف متماثلة : من جهة انشاء نمط جديد من الآلات ، التلسكوب الكبير ، العاكس الفوتوغرافي ، ومن جهة أخرى وبنفس الحقبة تقريباً ، اكتشاف كواكب قزمة وكواكب عملاقة ، وكان هذا «مفتاح السر» في علم الفلك الفيزيائي النظري .

في سنة 1904 قدمت مؤسسة كارنيجي مساعدتها إلى جورج الليري هال Ellery Hale من أجل انشاء مرصد كبير فوق جبل ولسون في كاليفورنيا . وأضيف إلى المعدات الأولى المخصصة لدراسة الشمس في سنة 1908 و 1918 تلسكوبان كبيران عاكسان قطر الفتحة في الأول 1,52 م والثاني 2,54 م ، وكانا أوليين من حيث النوعية . ووضعت الكليشيهات الفوتوغرافية الحاصلة بواسطة هذين التلسكوبين ، والتلسكوبات التي وضعت بعد ذلك ، وفي أمكنة أخرى ، في الخدمة ، فعرفت بمظهر مختلف الاصناف الكواكبية التي نستطيع اليوم ان نصفها بصورة منهجية . أما مجموعات الاطياف النجمية والسديمية التي قدمت فقد أتاحت ازدهاراً مختلفاً فروع الفيزياء

النجمية . وسوف يحفظ التاريخ ، بالتأكيد اسم ج . أ . هال كطليمي عظيم . وهو الذي تصور وصمم ، قبل موته بقليل دراسة مشروع لتسكوب قطر فتحة خمسة أمتار فوق جبل بالومار .

ان الدراسة النوعية والكمية لاشعاع الكواكب هي المصدر الوحيد لمعارفنا حول بنيتها وحول حالتها الفيزيائية . ولكن هذا الاشعاع الصادر عن الطبقات الخارجية من الكواكب يقدم فقط الشروط حول حدود مسألة شائكة هي مسألة التركيب الداخلي للكواكب وما يصدر عنها من طاقة . ولكن الفيزياء النجمية لا يمكنها الا ان تتبع خطوة خطوة ، تقدم فيزياء الاشعاع التي تعالج علاقات المادة بالطاقة . ولكن مسارها بقي متردداً لمدة طويلة . في القرن الأخير حاول هلمهولتز ، ولان Lane ، وآخرون أيضاً أن يبنوا نظرية ميكانيكية وحرارية ديناميكية لتطور الكواكب ، ولكن النتائج التي حصلوا عليها لم تكن مقبولة من قبل علماء الجيولوجيا . ونلاحظ اليوم بدون عناء نواقص هذه النظرية القديمة : إذ لم يكن لديهم يومئذ الا معلومات تجريبية ومختصرة حول عملية البث الضوئي ؛ ان مساحة كوكب واحد هو الشمس ، كان في متناول الرصد ، وكان من المقبول ضمناً ان الكواكب الاخرى تختلف عنها خاصة في درجة الحرارة وربما أيضاً من حيث التركيب الكيميائي ، ولكنهم كانوا يجهلون كل شيء عن حجمها وعن ثقلها النوعي . وأخيراً لم يكونوا يشكون بوجود تفاعلات حرارية نووية ، مولدة لسيول من الطاقة ترسلها الشمس والكواكب .

إن نظرية أطيف البث والامتصاص ، المنبثقة عن الفيزياء (الكتية) الكمية وعن الميكانيك التوموجي ليس مكانها هنا ؛ ولكن أهميتها عظيمة ، إذ قبلها كان استغلال الأطيف النجمية والسديمية غير كامل . وعلى كل عمل اكتشاف تجريبي كواكب خالص ، وبصورة كبيرة ، على تسهيل مهمة الاختصاصيين : انه اكتشاف نمطين من الكواكب مختلفين تماماً من حيث الضوئية : الكواكب القزمة والكواكب العملاقة ، وهو اكتشاف اعلن عنه اجنار هرتز برونغ Hertzprung سنة 1905 . وبعد ذلك بسنين ، سنة 1910 ، درس هنري نوريس راسل Russel الذي توصل إلى تحديد مسافات 52 كوكباً ، توزع ضوئيتها تبعاً لنمطها الطيفي ؛ في سنة 1913 وسنة 1914 وسع نتائجه فأشملها بضع مئات من الكواكب ، وصورها بشكل خط بياني كانت الطبقة الطيفية فيه على محور الاحداثي الأفقي ، والضخامة المطلقة على الاحداثي العمودي . وفوق هذا الخط البياني الذي ما يزال يسمى اليوم بأوائل الحروف من اسم (هرتز برونغ - راسل) أي (H - R) ، كانت الكواكب غير موزعة عشوائياً وفيه نلاحظ بوضوح وجود سلسلتين متميزتين ؛ السلسلة المسماة اليوم بالرئيسية ، وسلسلة العملاقة . وبين راسل ان الكتل في العملاقة ليست أضخم بكثير من كتل الأقزام (عشرة إلى عشرين مرة ، لأخذ فكرة) وإن الفئتين بالتالي تختلفان بشكل خاص من حيث الاحجام ومن حيث الثقل النوعي . ان هذه الفكرة الخصبة هي احلى أسس الفيزياء النجمية .

لقد أثار عمل هرتز برونغ القليل من الضجة ؛ وثبت عمل راسل الانبثاء خاصة وإن صاحبه رأى فيه تأكيداً لأفكار قديمة سابقة قال بها لان ولوكير Lockyer حول تطور الكواكب التي تشكلت على حساب السدائم ذات الكثافة الاضعف وذات درجات الحرارة المنخفضة نسبياً ، وهذه الكواكب تكثفت إلى أن تلاشت طاقتها الكامنة الجاذبية . ووفقاً لهذا التصور المقبول بشكل

اجماعي حوالي سنة 1920 ، نشأت كواكب عملاقة حمراء ، وصعدت السلم ارتقاءً نحو أنماط الكواكب البيضاء ، ثم نزلت في السلم إلى حالة الكواكب القزمة المتزايدة التلون حتى وصلت إلى درجة البرودة الكاملة .

ان اكتشاف التفاعلات النووية المعتمدة ، بعد ذلك ، كمنع حقيقي للطاقة ، طرح في النسيان نظرية لان وكذلك الرسيمة الأولى التي وضعها راسل . ومن صواب القول ان راسل نفسه قد ساهم إلى حد كبير ، بخلال حياته الطويلة ، في صنع نظريات جديدة ولكن المخطط البياني هـ-ر (H-R) المحسن بصورة مستمرة بقي بين يدي الفلكيين الفيزيائيين أداة عمل ضرورية رغم انه فقد بساطته الأولى ، لأنه يعطي تركيباً معبراً بشكل خاص عن أحداث الرصد . اما النظرية الأساسية التي قدمها راسل حول تطور الكواكب ، فقد شكلت يومئذٍ فرضية العمل الوحيدة الممكنة ، وكانت في أساس البحوث الكثيرة العدد ، ومن جراء هذا فقد كانت أهميتها التاريخية ضخمة للغاية .

وبعد نهاية الحرب العالمية الثانية رأى علماء الفلك أمام أعينهم ويحثهم مجالاً طيفياً جديداً هو مجال الموجات الهرتزية ، الذي كان حتى ذلك الوقت مستعصياً من الناحية العملية . وبخلال عدة سنوات بلغت تقنيات علم الفلك الاشعاعي - وهي تقنيات اشتقت من طرق اكتشافية وضعت من أجل احتياجات الدفاع الجوي - حساسية ودقة كافيتين لدراسة المصادر الاشعاعية : الشمس ، الكواكب ، النجوم ، السدم ، المجرات . واستعمل الطرق الاشعاعية الكهربائية المتزاوجة مع الطرق الابصارية ، الاصلية جداً ، وكان مبدعها الأول برنار ليوت Lyot ، هذا الاستعمال أحدث تقدماً حاسماً في الفيزياء الشمسية ، وبالمقابل أحدث تقدماً في بعض فصول فيزياء الكرة الأرضية . ان دراسة المصادر الاشعاعية المجراتية أو الخارجة عن المجرات لم تكن أقل خصباً لأن الراديو تلسكوب أو المرصد الاشعاعي « يرى » أبعد من التلسكوب الفوتوغرافي .

وأخيراً وفي 4 تشرين الأول سنة 1957 دخل حلم قديم من أحلام البشرية مجال الامكان . في هذا اليوم أمكن وضع آلة تدور في مدار حول الأرض . وبعد أربع سنوات دار أول قمر صناعي يحمل انساناً حول الأرض ، ثم تلاه آخر ، وكانا يدوران بحرية خلال عدة ساعات .

وقدمت الأقمار الصناعية الكثيرة العدد المرسله لتدور حول الأرض الكثير من التقديمات خاصة للجغرافية الفيزيائية ؛ ولكن أحد هذه الأقمار دار حول القمر وأعطانا صورة أولى عن وجه القمر الآخر المجهول . ولم يكن عهد الملاحة الفضائية بالذات بعيداً جداً .

فيمقدار ما يوسع العلم سلطانه يصبح فهم كنهه أكثر مشقةً وتعقيداً . منذ قرن من الزمن كان بإمكان أي انسان مثقف ، وبدون أن يكون فلكياً ، ان يستوعب الطرق الرئيسية ، والنتائج الأكثر أهمية التي تحققت في علم الفلك . أما في أيامنا فان هذا المجال العلمي يستعين بعدد أكبر من التقنيات المختلفة التي تشكل اختصاصات متنوعة . ولهذا جرت الاستعانة بالعديد من المعاونين من أجل تحرير مختلف أقسام هذا الفصل . فإن نتج عن ذلك بعض الثغرات ، أو بالعكس ، بعض التكرار ، إلا أن القارئ يجد هنا معلومات من الدرجة الأولى .

II - التلسكوب والمرصد

ان التقدم الحاصل منذ مطلع القرن السابع عشر في مجال بناء المناظير الفلكية قد أتاح أرسداً بالعين واضحة ومفصلة ، للسطوح الكوكبية وللنجوم المزدوجة . وأمكن رصد نجوم متناهية الضعف ، بفضل تكبير قطر المهداف (الشبيحة ، objectifs) الامر الذي أدى إلى تحسين قدرة الفصل وإلى زيادة كميات الضوء الملتقطة .

وفي أواخر القرن التاسع عشر بلغ قطر بعض كاسرات الاشعة المتر (مجلد III) ، ولكن بدا من المستحيل تجاوز ذلك بسبب الصعوبة في صنع صحون أكبر من الزجاج الشفاف . فضلاً عن ذلك وبسبب الزيوعات اللونية التي تحدثها المناظير ، بدت هذه أقل استجابة لمقتضيات التصوير الفوتوغرافي والتصوير الطيفي ، اللذين دخلاً يومئذٍ في الاستعمال الجاري في المراصد . ولهذا بذلت جهود لتطوير آلات عاكسة خالية من هذه العيوب ، ولا تحتاج إلى كتل من الزجاج غير الشفاف ، وأسهل تحقيقاً من زجاجات الشبيحات . وفي مطلع القرن العشرين كان لبعض التلسكوبات فقط قطر يتراوح بين 80 و 91 سنتم وفي سنة 1908 فقط أقيم فوق جبل ولسون تلسكوب بمقياس 152 سنتم وقد فصل مرآته ج . و . ريتشي . وكانت النتائج الفخمة التي قدمها هذا المرصد حافزاً لصنع تلسكوب قطره 254 سنتم وضع قيد العمل سنة 1918 فوق جبل ولسون . وبخلال السنوات التي تلت وضعت عدة آلات ذات قطر مقارب لمترين ، وركبت في الولايات المتحدة (ملك دونالد ، بريكينز) وفي كندا (طورنتو ، فيكتوريا) .

وكان رائد الفيزياء الفلكية في جبل ولسون ج . أ . هال (1868 - 1938) الذي وضع التصاميم لتلسكوب عملاق قطره خمسة أمتار . ان هذه الآلة الفخمة وضعت في الخدمة سنة 1948 فوق جبل بالومار ، وهي منطقة محمية من الاذخنة ومن الأنوار في لوس انجلوس . وانجاز هذا المرصد يعتبر عملاً رائعاً في علم البصريات والميكانيك يصعب تجاوزه والكلشحات الكثيرة الفلكية والطيفية التي قدمها مرصد بالومار جددت كل معارفنا حول علم الفلك الكواكي .

وبعد الحرب العالمية الثانية تم تركيب عدة آلات أخرى ذات قطر مهم ، رغم تواضعها نسبة إلى بالومار ، وذلك في بلدان عدة أخرى . ومنها تلسكوبات مرصد بريتوريا وجبل ستروملو في أستراليا ومرصد هوتبروفانس ، ومرصد برلين ، وكلها ذات قطر يقارب المترين ، في حين ان تلسكوب مرصد أكاديمية العلوم في الاتحاد السوفياتي ، في جزيرة القرم ، والذي وضع في الخدمة سنة 1962 يبلغ قطره 2,6 م وان تلسكوب مرصد ليك (1960) يبلغ قطره 3 أمتار .

هذه التلسكوبات ذات النمط الكلاسيكي وذات المرايا الرئيسية المحدودة تتيح أخذ صور ، أما مباشرة (بؤرة رئيسية) أو بعد انعكاس مسطح (بؤرة نيوتون) . وتقوم مرايا متزايدة التععر ومساعدة بتكبير السلم (بؤرة كاسيغرين) أو تعيد ارسال الصورة إلى مختبر ثابت (بؤرة كودي) . ولكن هذه التركيبات الابصارية لا تمكن من الحصول على كلشحات لحقول نجومية كبيرة : ان تلسكوب هال لا يعطي صوراً واضحة إلا في حقل دائري من 15 ثانية . ومنذ زمن بعيد حاول

العديد من الفلكيين تفادي الخطأ المخاطر . في سنة 1905 ذكر ك . شوارزشيلد الشروط التي يجب أن تتوفر في هذه التلسكوبات التسطيحية ذات الحقل الواسع . وأشار هـ . كريتيان إلى بديل مثير للاهتمام بشكل خاص ، هو تلسكوب ريتشي - كريتيان الذي يتألف من مرآتين مقطعهما هو منحنى متصاعد . ورغم بعض خيبات الأمل الناتجة عن صعوبة التحقيق فإن آلات من نمط مماثل قد جهز بها مرصدان كبيران ، أحدهما مرصد الجامعات الأميركية من مجموعة أورا A.U.R.A. في كيت بيك Kitt Peak ، ومرصد المشروع الأوروبي الجنوبي (تلسكوب قطره 3,5 م) .

ولكن حقل هذه الآلات يبقى ضيقاً ، من عيار درجة واحدة في أحسن الحالات ولحسن الحظ قدم عالم بصري في مرصد هيمبورغ اسمه ب . شميدت ، حلاً عظيماً لمشكلة التلسكوب ذات الحقل الواسع ، وذلك بادرخال شفرة مصححة اسمها « شفرة شميدت » وغايتها تصحيح الزيغان الناتج عن كروية المرآة في التلسكوب عندما يتلقى ضوئاً من الأشعة المتوازية (راجع بهذا الموضوع دراسة ف . رونشي ، الفصل ٧ من القسم الثاني) . هذا الجهاز يتيح الحصول على صور ممتازة في حقول واسعة جداً ذات قطر يساوي 10 درجات على الأقل وقد تم تركيب العديد من تلسكوبات شميدت . ومرصد جبل بالومار يملك تلسكوبه شفرة قطرها 120 سنتم ومرآة قطرها 180 سنتم ، وهو يمتاز بصفة ابصارية رائعة جداً . ويعطي كليشهات ضلوعها 40 سنتم وتغطي ما يقارب مئة درجة مربعة . وهذا ما أتاح وضع خارطة لكل السماء الشمالية باسم « مسح السماء في بالومار » .

واقامة هذه المعدات قد طرحت العديد من المسائل وأهمها اختيار موقع المراصد بحيث يجب أن تكون الآلات بعيدة عن أنوار المدن الكبرى وأن تكون في مناطق تكون فيها السماء مكشوفة عادة والفضاء مستقراً حتى لا يخرب التشويش الصور . وتتحقق هذه الشروط في الجبال ، وفي كاليفورنيا مثلاً التي أصبحت المكان الاسمي للفيزياء الفلكية العصرية . ولكن هذه الشروط تتحقق أيضاً في مناطق أخرى (المتوسط ، الحدود الشمالية لجبال الحملايا ، إلخ) حيث أقيمت عدة مراصد حديثة .

والمشكلة الرئيسية الباقية هي تجهيز نصف الكرة الجنوبي .

وبالفعل ان هذا النصف قلما احتوى الا تلسكوبين قديمين نوعاً ما من قطر 187 سنتم ، وهذه المعدات غير كافية اطلاقاً لدراسة السماء الجنوبية الغنية جداً بالكواكب الاستثنائية . وجدير بالذكر بشكل خاص انه اذا كانت دراسة مركز مجرتنا يمكن أن تباشر إلا من نصف الكرة الجنوبي . وهناك عدة مشاريع قيد الدرس لتلافي هذا النقص . فقد وقّعت 5 دول أوروبية على اتفاقية من أجل اقامة مرصد مجهز بتلسكوب قطره 350 سنتم ، وتلسكوب شميدت شبيه بتلسكوب جبل بالومار ، أما في منطقة غران كارو (Grand Karoo) في مقاطعة الكاب في افريقيا الجنوبية ، أو في جبال الاندس الشيلية شمالي سانتياغو . وتووي الولايات المتحدة من جهتها اقامة مرصد كبير في الشيلي ، في حين أقر الكومنولث البريطاني مشاريع مماثلة في أستراليا .

III - اللاقطات

إن أقدم لاقط للضوء استخدمه الفلكيون هو العين البشرية ، وما تزال أكمل لاقط . وابتاعها ممتاز ، وفي بعض الظروف تكون حساسة حتى حدود بضعة فوتونات ومن المهم جداً أن مدة لقط العين أو اللوح لا تتجاوز إلى 2 من أعشار الثانية أي أن العين تستطيع بخلاف هذه اللوحة أن تجمع طاقة الفوتونات ، ثم تحول مجموعها إلى إحساس بصري ؛ وبعد ذلك تمحي وتبدأ من جديد . هذه القدرة تجعل العين مستعدة جداً لالتقاط ظواهر هاربة وعابرة . ونحن نرى هنا قدرتها المدهشة على التكيف مع الحياة اليومية .

في الأرصاد الفلكية تحتفظ العين بهذه الخصائص التي يمكن أن تستخدم بجديوى عندما يقتضي الأمر تعيين كوكب بواسطة خيط ميكرومترى ، أو في حالة الاسطرلاب غير الشخصي . ومن المستحيل تقريباً ضمن هذه الشروط ، ورغم تقدم الالكترونىك ، إنجاز لاقط بمثل هذا الكمال أو يعلوه . ويجب أن نقول أن العين تمتاز بأن لها امتداداً في الدماغ البشري الذي لا تستطيع آلة الكترونية مجاراته في القدرة على الغرلة والتصنيف والربط والتأويل .

إن الامكانية الوحيدة المعطاة للاقطات الفيزيائية ، والتي تمتاز عن العين ، تكمن في قدرتها على مراكمة طاقة الصور « الفوتون » ، في أزمنة أطول بكثير ، مما يمكن من تعقب أسهل . إن الصفيحة الفوتوغرافية تمتلك هذه الميزة . وفي علم الفلك قد تستمر مدات اللقط الفوتوغرافي حتى تبلغ سبعين ساعة ، ومن الممكن إذاً تصوير كواكب أو تسجيل أطراف تحت عتبة الرؤية بكثير . والمكسب الممكن يتعلق بالخصائص البصرية التي تتمتع بها الأدوات المستعملة ، لأن الضوء الطفيلي في السماء قد يلعب دوراً مهماً بخلاف الجلسات الطويلة ، فيجب إلى حد ما الصفيحة . إن امكانات الفوتوغرافيا قد أشار إليها أراغو Arago منذ 1839 في أكاديمية العلوم الفرنسية . وكانت الصور الفوتوغرافية الأولى التي تحتوي على أهمية علمية ، من صنع جانسن ، وكان يومئذ مديراً لمرصد ميدون . وكانت صوراً رائعة للشمس ما تزال حتى اليوم تثير إعجاب الفلكيين . وتجاه حالة ضعف ضوء الكواكب كان التقدم بطيئاً جداً . في تموز 1850 حصل بوند وهيل ، في مرصد هارفارد ، وفقاً لتسجيلات داغر ، على صورة فيغا (Vega) بخلاف مئة ثانية من الملح . وكان من المستحيل يومئذ الحصول على صورة لكوكب من الدرجة الثانية في الضخامة . في سنة 1875 كانت هناك عودة إلى التجارب باستعمال أسلوب اللدائن الرطبة وأصبح من الممكن تصوير مizar ورفيقه إنما توجب انتظار سنة 1880 حتى يشرع بيكرنغ Pickering في هارفارد في تصوير أكبر مجموعة من الصور الفوتوغرافية للسماء ، على صفائح من الجلتين ، وهي أكبر مجموعة في العالم تضمنت تصنيف أطراف أكثر من 225 ألف كوكب . وأتاحت الفوتوغرافيا الحصول على كل المعطيات تقريباً التي انطلق منها علم الفيزياء الكوكبية .

وبخلاف هذا القرن العشرين تقدمت حساسية ورهافة اللدائن والمستحلبات تقدماً بطيئاً . وفي سنة 1954 حصل و . من . فنس في مرصد جوهانسبورغ على صور فوتوغرافية جميلة وملونة

للمريخ . وفي سنة 1958 حصل و . ش . ميلر في جبل بالومار على صور فوتوغرافية رائعة وملونة للكواكب والمسلم .

وهناك معطيات أخرى أساسية بالنسبة إلى الفيزياء الفلكية قد توفرت بفضل لاقطات متنوعة تستعمل ظاهرات التصوير الكهربائي . في سنة 1905 قدم أنشتين نظرية المفعول التصويري الكهربائي ويثبت ان كل حبة من الضوء أو فوتون تستطيع أن تقذف من سطح تصويري حساس الكترونًا واحدًا وإذا عرفنا كيف نلتقط هذا الالكترن يصبح من الممكن التقاط القسم الاقصى من الضوء وهو الفوتون . هذا الالتقاط للالكترن ، أصبح ممكنًا باستخدام ظاهرات البث الثانوية التي أتاحت تحقيق المضاعفات التصويرية . ان الحساسية القصوى والامانة في هذه المضاعفات التصويرية أدتا إلى نتائج قلبت رأساً على عقب التصوير المتري الفلكي منذ حوالي خمس عشرة سنة . ومنذ 1907 ، أنجز ج . ستينس القياسات الأولى للدفق الأولي الصادر عن القمر بواسطة خلية تصويرية مقاومة من مادة السيليوم ، ولكن هذه الخلية لم تكن حساسة كفاية ولا آمنة كفاية حتى تصلح للاستعمال في التصوير المتري النجمي . وحوالي 1922 استعمل ج . روجيه Rougier في مرصد ستراسبورغ وغوثنيك Guthnick في مرصد باليسبرغ الخلايا الأولى التصويرية الكهربائية من مادة اليوتاسيوم ، من أجل قياس الضخامات الكوكبية والتصوير المتري للقمر .

وفي حوالي سنة 1932 حسن ويتفورد كثيراً المضخمات مما أتاح استعمال الخلايا التصويرية الكهربائية بفعالية أكبر .

وفي سنة 1936 أنجز زوريكين أولى مكثرات الصور وكان ويتفورد وكرون أول من استعملها في علم الفلك ، ولكن النتائج كانت أقل جودة مما هي عليه عند استعمال الخلايا التصويرية الكهربائية لأن حساسية الصور الكاثودية ضعيفة ، وتيار الظلام مرتفع ، وبعد سنة 1941 جرى تحسين ضخّم بواسطة مكثر الصور (1 ضرب 21) الذي وضعته شركة (ر . س . آ) (R.C.A) وبواسطة مضخمات الصور التي تحققت منذ 1947 في مرصد باريس . ان هذه الظاهرة التصويرية الكهربائية بالذات هي التي استعملها آ . لاليمانند سنة 1936 لتسجيل صور بواسطة كاميرا الكترونية . ومنذ 1955 استعملت هذه الكاميرا في مراصد هوت بروفانس وفي بيك دوميدي ، ومنذ 1959 في مرصد ليك في كاليفورنيا والصورة المسجلة بواسطة الفوتو الكترن يمكن أن تكون عشر مرات أدق من الصورة الفوتوغرافية الكلاسيكية ، والحساسية يمكن أن تكون مئة أو ألف مرة أكبر من حساسية الصفيحة الفوتوغرافية ، والجواب ، أي عدد حبات الفضة الميضة ، يتناسب مع عدد الفوتون الحاصلة : ولا يوجد حد تقف عنده الحساسية .

ان البولومتر أو ميزان الحرارة الكهربائي الذي وضعه لانغلي سنة 1900 يستخدم تغير مقاومة موصل ضعيف الطاقة الحرارية ، فيسخن تحت تأثير الإشعاعات . وإذا وضع الموصل في الفراغ تحسنت الحساسية . ولقياس هذه السخونة يمكن استعمال البطارية الحرارية الكهربائية (كويلنتر ، 1913) الموضوعه أيضاً في الفراغ . وتشابه حساسية البولومتر وحساسية البطارية الحرارية . وبدأ العمل الضخم من قبل أبوت حوالي سنة 1880 الذي استعمل البولومتر كلاقط للطاقة ، وما يزال هذا

العمل مستمراً تقريباً حتى أيامنا هذه وبصورة رئيسية في الدراسات حول الشمس . وفي حالة الكواكب أو النجوم ، حيث تبدو حساسية البولومتر ضعيفة جداً ، فضل غويلتسز وبيت ونيكولسون (1906 - 1927) استعمال الأزواج الحرارية الكهربائية في الفراغ ، ولكن الحساسية ما تزال ضعيفة جداً ، والقياسات لم تكن ممكنة إلا بالنسبة إلى الكواكب الباردة جداً .

في هذه الدراسات المتوجهة نحو تحت الأحمر ، حصل الفلكيون على بعض النجاح بواسطة اللاقطات التي تستخدم خصائص الموصلات النصفية وخاصة سولفور الرصاص أو كبريتات الرصاص . وفي سنة 1947 انجز ج . ب . كير مدوناً طيفياً (سبكتروغراف) للأشعة تحت الحمراء ولاقطه هذه الخلايا الجديدة من كبريتات الرصاص . وقد انجز بواسطة هذا الجهاز استخدام عدد كبير من شرائط الامتصاص للضوء الذي تبثه كواكب ضوؤها من عيار (2.1μ) . ولكن هذه المناطق تحت الحمراء تتغير بعمق بفعل شرائط امتصاص الفضاء الأرضي ، وهناك تفكير باستخدام الاقمار الصناعية للحصول على أرصاد أفضل . هذا الاستخدام الممكن للأقمار يقتضي دراسة وضع لاقطات جديدة مؤهلة لقياس الاشعاعات التي لا تستطيع الوصول إلينا ومنها فوق البنفسجي الأقصى ، وأشعة اكس ، وهذا سوف يكون منطلق اكتشافات مهمة .

IV - علم الفلك الأساسي والميكانيك السماوي

إن علم الفلك الأساسي يعالج مواقع أي اتجاهات الكواكب والنجوم ، والميكانيك السماوي يهتم بحركات الكواكب ؛ ومعرفة هذه العناصر تؤدي إلى تحديد النظام الجيومتري الاسنادي الذي به ترتبط معطيات الرصد ، وبهذا تتحكم بالافادة من قسم كبير من النتائج الحاصلة في مختلف فروع علم الفلك .

ومع ذلك ، ويفضل النهضة العامة في المعارف العلمية اتسع حفل البحوث الفلكية بحيث أن علم الفلك الأساسي والميكانيك السماوي لم يعودا يحتلان إلا مركز ضيقاً في تطور علم الفلك ؛ خاصة وأن هذين العلمين لا يشتملان اصطلاحاً على مواضيع مستجدة مثل دراسة السرعات الاشعاعية والدوران المجري ومسائل الديناميك الكواكبي الخ .

وترتيب أساليب العمل هو عامل مهم في الانجازات المحققة وبدلاً من تركيز النتائج المتناثرة ساد منذ بداية القرن ، وبصورة منهجية وضع برامج دولية . ان قرارات الاتحاد الفلكي الدولي المؤسس سنة 1919 والذي يضم حالياً 39 دولة ، تنفذ بأمانة وانضباط مقبولين نوعاً ما ، وهي تسهل الحصول على دعم حكومي وخاصة في المجالات المالية .

1 - علم الفلك الأساسي

عدا عن الاجهزة الخاصة المشار إليها اعلاه هناك عدد كبير من المعدات الجديدة قد شاهدت النور ، ولكنها لم تثبت فعاليتها بعد .

إن الآلة الشمسية الهاجرية ما تزال تحتفظ بدورها الرئيسي . ومنذ ادخال الميكرومتر

السلاشخصي (مجلد III) ، أدخلت تسجيلات متعددة (تسجيل فوتوغرافي أو تصوير كهربائي للدوائر ، كرونوغراف طباعي ، وتآلية التسجيلات) إلا أن أيًا منها لم يكن له أثر مشهود على دقة القياسات . نذكر فقط أن التسجيل الكهربائي التصويري للعبور ، وهو تقنية دقيقة درسها ن . بافلوف بعد سنة 1933 ، يعطي الآن نتائج ممتازة في الاتحاد السوفياتي .

ثوابت أساسية - سنداً لأعمال نيوكومب (مجلد III) ، حدد « المؤتمر الدولي للكواكب الأساسية » ، المت عقد في باريس سنة 1896 القيم العددية الاصطلاحية بالنسبة إلى تمايل محور الأرض (21°,9°) ، والزيغان (47°,20°) وتغير الموقع الشمسي (80°,8°) . وكلف المؤتمر نيوكومب بحساب التعاقب بين الاعتدالات ، انطلاقاً من الحركات الخاصة في جدول الأتاسي . أن قيمة هذه الثابتة قد تحددت نهائياً في سنة 1905 (50.256 ثانية) .

إن الفائدة المرجوة من توحيد الثوابت الأساسية كانت ضخمة ، ومن الملحوظ أيضاً إن القيم المعتمدة اليوم (إن لم يكن من المحذور أو المستبعد تغيير القيمة المتفق عليها ، قبل وقوع اختلافات خطيرة) تقارب القيم المختارة ، وهذا ما ثبت منه « المؤتمر الدولي حول الثوابت الأساسية » الذي عقد في باريس سنة 1950 .

والواقع أن القيمة الملحوظة في ما خص ثابتة تمايل محور الأرض لا تتفق مع القيمة (227°,9°) التي تستخلصها النظرية من الثوابت الأخرى (مثل التتالي ، وتسطيع الأرض) ؛ وبين جفريس سنة 1952 أن الاختلاف يفسره عدم يوسمة الأرض . وبالنسبة إلى الزيغان تقضي التحديدات الحديثة بزيادة (0°,03°) وحتى أكثر على الثابتة . وفي ما خص التتالي ، ومن أجل احتساب الدوران المعجري بصورة رئيسية ، هناك تمنٍ بإدخال تصحيح قدره (0,008s +) . أما قياس تغير موقع الشمس فيعطي فروقات ما تزال غير مفسرة . وهذه الثابتة توجد مع العديد من الظواهر الفلكية . ونحصل عليها بواسطة طريقة التثليث ، التي تعتبر الأولى تاريخياً (مجلد II) ؛ والنجمه إيروس المكتشفة في أواخر سنة 1897 كانت موضوع حملات تنظمت أثناء تعارضين مناسبين في سنة 1901 و 1931 حيث كانت المسافة بينها وبين الأرض ثلاث وخمس مرات أصغر من مسافة الشمس . واستنتج هنكس القيمة (806°,8°) سنداً للنتائج التي حصلت سنة 1901 ، فبا توصل سبنسر جونز إلى القيمة 790°,8° سنداً لنتائج 1931 . ومن جهة أخرى ، ويعكس ما حدث في القرن الثامن عشر (مجلد II) ، حيث سرعة الضوء تأتي الآن من قياسات المختبر ، أن التمايل الشمسي يستخرج من الزيغان ويستقر حول 790°,8° مباشرة . ومن بين التحديدات الأخرى الجديرة بالثقة ، تحديد يستنتج من كتلة النظام أرض - قمر ، كما استخرجه أ . راب سنة 1950 من الاضطرابات التي أصابت إيروس ومؤداها 798°,8° .

إن التحكم بين هذه التقديرات القليلة التوافق ربما يرد إلى التحديدات المسافة الجارية بواسطة الرادار . فالإصداء من الزهرة حصلت منذ 1958 في الولايات المتحدة . وهذا الأسلوب لا يتيح الاستنتاج منذ الآن ، وذلك بسبب امكانية الخطأ المنهجي الكامن ، ولكن النتائج الأخيرة الحاصلة في الاتحاد السوفياتي وفي الولايات المتحدة (1961 - 1962) فيها توافق كبير فالوحدة

الطولية الفلكية ، وكذلك تغير الموقع الشمسي الناتج عنها يقعان على التوالي في الفرجات التالية :

$$149\,598\,000 \text{ km} \pm 2\,000 \text{ km et } 8'', 794\,15 \pm 0'',000\,15$$

الجداول الأساسية - في هذا المجال الشيء الأكثر أهمية هو التوصل إلى اعتماد جدول موحد . وهو قياس أوصى به « المؤتمر الدولي للتقويمات = الروزنات » (1911) ، وقرره الاتحاد الفلكي الدولي سنة 1925 ، وهو لم يدخل في التطبيق فعلاً إلا ابتداءً من سنة 1941 بعد نشر التقويمات بأربع لغات نقلاً عن جدول يحتوي على 1535 كوكباً ، عنوانه « دريتر فوندمنتل كاتالوغ Dritter Fundamental Katalog » (FK3) . وهذا الجدول الأخير حصل عليه كوف Kopff بعد توسيع وتحسين جدول أورس Auwres (مجلد III) ان ف . ك . 4(FK4) الذي حل محل الأول منذ 1962 ، مستخلص منه بعد تصحيحات طفيفة .

وبقيت الجداول الأساسية تصدر عن نفس المصادر (الارصاد الهاجرية المطلقة ، وبصورة رئيسية في مرصد غريتش وواشنطن وبولكوف والكاب) ، وطبيعة أخطائها المنهجية قلما تغيرت . والآن فقط بدأت تظهر فكرة موضوعية عن هذه الأخطاء : ان الاسطرلاب غير الشخصي قد مكن ب . غينوت ، سنة 1958 ، ان يربط بدقة مواقع الكواكب البعيدة بعضها عن بعض ؛ ولأول مرة كانت فروقات مطلق جدول مستند إلى نظام وسط مثالي قد ظهرت . وساعد وضع سلسلة ملائمة من الاسطرلابات غير الشخصية على وضع نظام للمواقع عارٍ من الأخطاء المنهجية . وحدها توجهات النظام (خط الاستواء والاعتدال) وغنى هذا النظام ، كانت تشوش يومئذ على الآلات الهاجرية .

وأكثر الجداول أهمية عن الحركات الخاصة الذاتية ، هو الكاتالوغ العام (G. C) ويتضمن 33342 نجمة . وبنى ل . بوس (1910) في بادئ الأمر جدولاً أولياً (P. G. C) يتضمن 6188 نجمة . ثم وسعه بواسطة 200000 رصد هاجري جرت بين 1907 و 1918 (في الباني في الولايات المتحدة ثم في سان لويس ، الأرجنتين) ؛ وأكمل ابنه ب . بوس العمل . وظهر الجدول العام سنة 1937 ، فاعتبر احد الابنية في علم الفلك المعاصر ؛ وكان هذا الجدول مصدراً لعدد ضخم من الأعمال الفلكية الكوكبية .

جداول المواقع ونظام الاسناد - منذ اكتشاف الدوران المجري ، أصبح البحث عن مركز مطلق أمراً ملحاً . وكان المستند المثالي هو نظام الجمود الكوكبي (اندينغ ، 1905) ، المعروف بقوانين الميكانيك انطلاقاً من حركة الشمس والكواكب . وهو صعب التداول . إلا أن ربط الكواكب بالنجوم الصغيرة ، وهذا ما اقترحه ف . ديزون Dyson سنة 1928 ، كان موضوع دراسات متقدمة في الولايات المتحدة الاميركية وفي الاتحاد السوفياتي .

وفتح الربط باشياء بعيدة أقصى البعد سبيلاً آخر ، وان لم يؤد بالضرورة إلى نفس النتيجة . وبهذا المعنى لفت ه . كورتيس سنة 1928 الانتباه الى السدم الخارجة عن المجرة ؛ وبواسطة

كليشهات أخذت على فترات من 25 سنة ، أمكن تحديد اتجاه نظام الإسناد ضمن حد أقل من $0^{\circ},01$ تقريباً .

وتمّ حول هذا الموضوع وضع برنامجين كبيرين : البرنامج الأول وضعه بولكوفو (1932) ، وبعد ذلك بخمس عشرة سنة وضع برنامج ليك . واستمارهما مرهون بوجود جدول موسع يشمل الكواكب الضعيفة التي تستخدم مواقعها كوسيط في ربط السُدم الخارجة عن المجرة بالكواكب الأساسية .

إن إعادة رصد الكواكب الموجودة في الجدول العام (A. G) (مجلد III) قد مكنت من العثور على هدف جديد . ان التحديدات التي جرت سنة 1929 - 1930 ، والتي أدت إلى وضع (A. G. 2) قد أعيد النظر فيها بعد خمس وعشرين سنة . وفي الحالين تم تصغير كليشهات تغطي السماء الشمالية أخذت في المسجل الكواكبي ذي الحقل الواسع في برجيدورف (وأيضاً ، للمرة الأولى في مرصد بون) ، بواسطة أرصاد هاجرية امتدت عبر خمس سنوات ، وساهم فيها العديد من المراصد . والجدول العام (A. G. 3) الذي صدر سنة 1964 ، تضمن الحركات الذاتية المنسجمة لـ 180000 نجم تقريباً . أما بالنسبة إلى نصف الكرة الجنوبي فالبرنامج ما يزال في بداية تنفيذه .

2 - الارض والزمن

آلات الرصد ؛ حفظ الزمن - ان تغير القطب الارضي وقابلية العامودي المحلي للتغير ، كانا أمرين معترفاً بهما (مجلد III) ودراسة الظاهرات المرتبطة بالأرض وبمحور دورانها (خط الطول وخط العرض أو الارتفاع) ، تتطلب أدوات قادرة على تجسيد نظام الاسناد المحلي تلقائياً .

ان الناظر الفوتوغرافي السمتي (الأنبوب السمتي الفوتوغرافي أو P.Z.T) يقرم تماماً بهذه المهمة . فهو سمطي خالص ؛ صممه ف . روس سنة 1915 . وتبنى هذه الآلة وطورها ف . ليتل سنة 1933 من أجل تحديد الوقت . وكانت النتائج ذات دقة داخلية كبيرة . أما الاسطرلاب الذي تخيله آ . كلود سنة 1899 ونفذه بعد ذلك بستين مع درين كورت ، فقد استخدم الموشور المتساوي الاضلاع من أجل تحريف ضمتين ضوئيتين نازلتين ، الأولى مباشرة ، والثانية منبثقة عن انعكاس فوق حمام من الزئبق . وتم تحقيق تطابق الصورتين عندما بلغ ارتفاع النجم 60 درجة مئوية . وبفضل طريقة الارتفاعات المتساوية التي وضعها غوس سنة 1808 أمكن الحصول على ارتفاع المحطة ، والزمن الكواكبي المحلي للرقاص .

وكانت الآلة في أول الامر محمولة ثم أصبحت آلة مرصد بعد ان صحح عيائها : وحدانية التطابق المرصودة ، ووجود « عنصر شخصي » يختلف باختلاف الدوزنة أو التعبير . وأمكن الاسطرلاب اللاشخصي الذي صنعه آ . دانجون Danjon ان يتلافى العيب بواسطة كاسر للنور مزدوج بإمكانه ان يحدث انحرافاً متغيراً . وتم صنع النموذج سنة 1951 . وأتاح النموذج الذي بني كسلسلة منذ سنة 1956 ، رصد الكواكب من ضخامة 6. وهو يتميز بدقة داخلية مقدارها $0^{\circ},10$ (من أجل رصد فودي للكوكب) وبغياب الخطأ المنهجي الذي يمكن ادراكه .

ان استعمال مولدات تواتر قد حول مسألة حفظ الزمن وغيرها .
 إن الساعات ذات المرنان ، التي ظهرت سنة 1925 ضعيفة الأمانة اذا قورنت بالساعات ذات الرقاص . وينفس الحقبة شريح البعض في تثبيت تواتر البث الراديو-كهربائي بواسطة تواتر القضبان ، والصفائح أو حلقات الكوارتز ذات الأوجه المعدنية ، التي يغذي تجاوبها ظاهرة الكهرباء المولدة عن طريق الضغط . في سنة 1929 أخضع و . ماريسون Marrison مؤشراً زمنياً (ساعة) لهذا التواتر الرنيني (100000 هرتز) ، بعد اجراء التبطين اللازم . واستكملت ساعات الكوارتز بسرعة ، ودخلت في الاستعمال في المراصد ابتداء من سنة 1933 ؛ واليوم - ومع الأخذ بالاعتبار « القصور الثابت عموماً » ، فان الفروقات اليومية لمسجلات الوقت هذه لا تتجاوز بعض أجزاء من مئة من أصل مليون جزء من الثانية .

إن الساعات الذرية تستعمل التواتر الهرتزي المقرون بالإرجاعات الداخلية للمادة ، وهي ظاهرات تعود معرفتها إلى سنة 1934 .

إن مثل هذا التواتر يستعمل لتثبيت تواتر المتأرجح الإضافي الكوارتزي . ان أول ساعة ذرية مؤهلة للقيام بعمل مستمر حققها ايسن Essen وباري سنة 1955 . وتواترها الام هو تواتر نفل معدن السيزيوم أو الكازيوم ، وهو نقل توصل بعد ذلك إلى دور المعيار المستقل للزمن .

حركة القطب - منذ سنة 1900 سمح المكتب الدولي للارتفاعات برسم مستمر للمسار الذي يرسمه القطب الشمالي على سطح الأرض . وكان هذا المكتب يدير في بادئ الأمر 6 محطات رصد موزعة بانتظام على خط مواز لخط العرض $39^{\circ}8' +$. وكان عجز بعض هذه المحطات يستدرك بمعونة تقدمها المحطات « المستقلة » التي وضعها PZT ، ومنذ مئة قصيرة الاسطرلابات غير الشخصية .

ان الميزات الرئيسية لحركة القطب كانت معروفة منذ 1892 (المجلد III) ؛ وذلك بوتيرة متزايدة حيث صدر حول هذا الموضوع ومنذ ذلك الحين أكثر من ألفي عمل : وهذا يعني ان معارفنا قلما ازدادات تقدماً .

وسوف يطول الكلام اذا أردنا أن نبحث هنا أسباب هذا الفشل . وقد تحسن الوضع عندما قصرت الأخطاء المنهجية في التحديد عن بلوغ جزء من مئة من الثانية . ويكون من المفيد أن تستعمل الـ PZT على جداول بالكواكب الضعيفة شرط ان تكون دقيقة ومتجانسة ، وان يتم تركيز اسطرلابات غير شخصية بشكل ملائم . وعلى كل حال ، يضاف إلى النتائج الصادرة عن تحديدات الارتفاع ، النتائج الحاصلة من تحليل تحديدات الوقت . وهذه التحديدات الأخيرة التي يتزايد ضبطها باستمرار وبسرعة تتمتع بتماسك مجرب .

الوقت وخطوط الطول - ان مسألة خطوط الطول قد تغيرت منذ أمكن استعمال الاشارات الراديو كهربائية . فبدلاً من القياسات المتعلقة بأزواج من المحطات مع تحويل ونقل الكرونومتر أو المقياس اللوني (مجلد III) ، وضعت القياسات الفردية المرتبطة بشكل متبادل بالنصت إلى نفس الإشارة . ان ضمان تحديدات الطول في البحار أصبحت مؤمنة الآن .

إن أول بث منتظم لاشارات الوقت الراديوكهربائية قد تم تحقيقه في المرصد البحري في واشنطن سنة 1905 . وعندما أصبح المدى كافياً لوحظ إن البث الصادر عن مختلف المراكز لم يكن متطابقاً ، مما حمل في سنة 1911 ، الجنرال فرييه Ferrier على اقتراح انشاء جهاز مركزي موحد . ووضع المجلس الدولي للبحوث (الذي أصبح فيما بعد المجلس الدولي للاتحادات العلمية) المجتمع في بروكسل سنة 1919 ، وضع ملاكات « المكتب الدولي للساعة » (أو B.I.H) وحدد مركزه في مرصد باريس .

إن مهمة هذا المكتب الدولي هي تجميع تحديدات الساعة المعجزة في مرصد مشتركة لهذا المكتب (وهو تحديد يبلغ إلى المشتركين ما عدا باريس بواسطة الاشارات الساعائية) ثم استخلاص الساعة « الأكثر دقة » . وبصورة أوضح انه « الوقت الشامل » (زمن شمسي وسطي من غرينيتش يضاف إليه اثنتا عشر ساعة) يحدد وينقل . إن اعتماد خط غرينيتش⁽¹⁾ كخط هاجرة كان الأساس الدولي ، وهو أحد التدابير التوحيدية المقررة في المؤتمر الدولي للتقاويم المار ذكره .

ووضع شبكة عالمية متجانسة لخطوط الطول كان موضوع ثلاث حملات دولية كبرى تمت سنة 1926 و 1933 و 1958 . وهذا الأمر يتجاوب مع حاجة الفلكيين والمساحين الأرضيين في الوصول إلى معيار قدره 0,001 من الثانية قرب خطوط الطول المتعلقة بالمحطات الأساسية وتبديلاتها .

وتسهل تنظيم هذه الحملات نتيجة ترابط موضوعها مع موضوع ثانوي يهم الجمهور من ناحية أخرى ، وهو موضوع تكوين القارات . في سنة 1911 عرض ويجينر نظرية الانتقالات القارية وبموجبها انفصلت القارات الملتحمة في الأصل ، بشكل بطيء من خلال حركة ما تزال مستمرة في أيامنا .

والواقع كانت النتائج الحاصلة بخلاف عمليات مسح الأطوال ، مثمرة فيما يتعلق في موضوعها الرئيسي ، إذ دلت على أنه لا يوجد في الوقت الحاضر انحراف ملحوظ : فبدلاً من البعد السنوي الذي يزيد على عشرة أمتار ، كما كان ويجينر يتكهن ، بين أوروبا وأميركا الشمالية نجد الآن تقارباً ، وان بدا تافهاً إلا أنه يبلغ متراً واحداً في السنة .

سرعة دوران الأرض - إن دوران الأرض بذاتها قد استخدم دائماً كأساس لقياس الوقت : احتساب الأيام ، تقسيم اليوم ، ثم بصورة أكثر دقة احتساب اليوم الشمسي الوسطي . ولكن الخلل النظري في سرعة هذا الدوران قد لوحظ منذ زمن بعيد (مجلد III) . وترجمة نظريات حركة جسم النظام الشمسي إلى تقويمات ، جرى ضمناً الانتراف بأن اليوم الشمسي الوسطي ثابت . وتغير هذا اليوم يجب أن يظهر من خلال الاختلاف بين الرصد والتقاويم ، ويكون أكثر بروزاً كلما كانت الحركة الزاوية للجسم أكبر . وإذا يجب أن يبدأ نقصي هذه التغيرات بتبع حركة القمر . ونظرية

(1) إن نقل مرصد غرينيتش إلى هرستمونو Herstmonceux لا يغير شيئاً في خط الهاجرة الأساس الذي يعتبر تعريفه الدقيق ذا طبيعة إحصائية .

هذا الجسم لم تبلغ درجة الارضاء فعلاً إلا مع أعمال أ . براون . فقد تضمنت جداوله التي ظهرت سنة 1919 ، حداً أو عبارة تجريبية عملية ، وبعد ذلك بسبع سنوات أثبت أن هذا الحد ليس له من سبب إلا التأرجح في سرعة دوران الأرض . والتحليل الذي قام به سبنسر جونس سنة 1939 تناول خطوط الطول في الزهرة وفي عطارد وفي الشمس وفي القمر . وأدى هذا التحليل إلى نتائج أصبحت الآن مقبولة ، منها :

- 1- إن اليوم الشمسي يزداد بانتظام كل قرن ما يعادل 0,00164 من الثانية . هذا الحدث ينتج عن فرق متزايد بين الوقت الوسطي والوقت الموحد يبلغ 50 دقيقة في نهاية كل عشرة قرون .
- 2- يضاف إلى هذا الانحراف تأرجح غير منتظم كان اتساعه بخلاف القرون الثلاثة الأخيرة مقدار دقيقة واحدة .

في سنة 1937 ، وبعد دراسة الفروقات بين الزمن الوسطي والفرق في ساعات الكوارتز اكتشف ن . ستويكو Stoyko تغيراً فصلياً في السرعة اليومية للدوران كان مداه الكامل يبلغ جزءاً من ألف من الثانية . والتباطؤ المزمّن يُعزى إلى فقد الطاقة الذي تحدثه عمليات المد والجزر من احتكاك ؛ إن التغير الفصلي الموسمي ذو منشأ انوائي . وتم الوصول إلى البنية الدقيقة للموج غير المنتظم منذ 1955 ، عن طريق مقارنة الزمن الأرضي بالزمن المتأني عن طريق المعايير الذرية ؛ إن ارتباطها بالظواهر ذات المنشأ الشمسي ما يزال قيد الدرس .

أزمة التقاويم - إن الدوران الأرضي غير متسق ، وأساس سلم الزمن قد نُقل عن مؤشرات للوقت أكثر أماناً : هي مواقع الاجسام في النظام الشمسي . وتمت جدوله التقاويم المبنية على نظريات هذه الاجسام ، تبعاً لحجة تسمى « زمن التقاويم » أو (T. E) انسجاماً مع توصية المؤتمر الدولي حول « الثوابت الأساسية » الذي عقد سنة 1950 . وعملاً بقرار اللجنة الدولية للأوزان والمكاييل الذي اتخذ سنة 1956 ، أصبحت وحدة الزمن وهي الثانية مرسوطة بعد الآن بحركة الشمس : إنها الجزء المساوي لـ (1/31 556 925, 9747) من السنة القطبية في 31 كانون الأول سنة 1899 ، الساعة T. E12 (أي زمن التقاويم) .

وبموجب التعريف لا يكون زمن التقاويم في متناول اليد إلا بفعل تحليل أرصاد الاجسام الكائنة في النظام الشمسي ، وهي أرصاد ذات دقة خفيفة ، وتتطلب المراقبة بخلاف عدة سنوات . ولتسهيل الوصول إلى زمن التقاويم صنع و . ماركوويتز Markowitz سنة 1952 غرفة فوتوغرافية قمرية (كاميرا القمر) ، تسهل رصد القمر بالنسبة إلى الحقل النجمي : إن مصفاة الميل المتغير تتيح تثبيت صورة القمر بالنسبة إلى صور نجوم الحقل . ورغم وجود الكثير من هذه الآلات في الخدمة ، تكون الظاهرة المقاسة معقدة جداً بحيث يصعب التأكيد من أن النتائج تخلو من أخطاء منهجية .

إن الساعة الذرية بعد تثبيت القيمة الاتفاقية لتواترها ، تعتبر حارسة زمن خاص بها ، وهي سهلة التداول . إن المسائل التي تطرح الآن هي التالية : هل من المستبعد أن تكون المعايير الذرية المختلفة ذات انحرافات نسبية ، وإذا كان ذلك ، فإن سلم الزمن الذي تعرفه هذه المعايير الذرية

مجتمعة هل سيكون موحداً بدقة بمعنى الميكانيك ؟ إن الجواب بالإيجاب إطلاقاً يخرب السلم الزمني الجديد لصالح السلم الذري .

3 - الميكانيك السماوي

الاكتشافات - منذ 1890 ازداد عدد الكواكب بتابعات جديدة (ثمان بالنسبة إلى المشتري واثنان بالنسبة إلى زحل وواحدة بالنسبة إلى اورانوس وإلى نبتون) . وكان للنجوم رفيقات عديدة كما أن مداراتها قد حدد منها في الوقت الحاضر أربعة آلاف مدار ؛ وهذه بعض فرائدها : هرمس (اكتشف سنة 1937) واقترب من الأرض إلى مسافة تزيد بمقدار النصف فقط عن مسافة القمر ؛ إيكار (1949) ويتميز بخروجية عن المركز ضخمة (0,83)، وكان لهيدالغو (1920) Hidalgo انحدار قوي (43°) . وفي سنة 1906 تم اكتشاف أولى الكواكب الطروادية الستة عشر المعروفة اليوم بالنجوم والتي يشكل كل منها بشكل محسوس مثلثاً متساوي الاضلاع مع المشتري والشمس . وحركتها تجسد حللاً لمسألة الثلاثة أجسام ، والتي عثر عليها لاغرانج سنة 1772 . ان اكتشاف الكوكب بلوتون فيه بعض مماثلة مع اكتشاف نبتون (مجلد III) . وتحليل بقايا رصد اورانوس حمل ب . لويل Lowell إلى حساب مدار كوكب مفترض أو احتمالي (1915) . وقامت بحوث فوتوغرافية على نطاق واسع ، وجهاز مرصد فلاجستاف (في أريزونا) تجهيزاً خاصاً لهذه الغاية . وفيه اكتشف ك . تونيوف الغرض المنشود في 18 شباط سنة 1930 ، في الدرجة السادسة من الموقع المتوقع . وتمت متابعة الاستقصاء المنهجي فغطت ثلاثة أرباع السماء إلى أن وصلت إلى الارتفاع 16 ، فلم يعثر على كواكب أخرى .

إن الارصاد المباشرة حول بلوتون دلّت على أن كتلته تقل بمقدار ثماني مرات عن الكمية المتأتبة عن تحليل عن الاختلالات التي يحدثها . ولم يتم بعد تحديد منشأ الاختلاف .

البحوث النظرية - تتميز البحوث النظرية في الوقت الحاضر بغياب المدلول العملي فيها ؛ ونذكر بعضها :

ان الميكانيك التحليلي ، ودراسة الخصائص الشاملة لحلول مسألة الاجسام الثلاثة ، قد تطورا ضمن السبل التي فتحها هنري بوانكاريه ، وخاصة الأعمال التي قام بها كل من ج . بيركهوف ، وشازي Chazey وونتر Wintner .

وجعل سوندمان Sundman سلاسل الميكانيك السماوي متلاقية بشكل منسجم (1912) وذلك بادخال متغير ضابط أو متغير استبعد استخدامه الفعلي .

ومع لياپونوف Liapounov (1905) ، وجينس Jeans (1919) وجيفريس (1947) تم الاتفاق على عدم استقرار الصورة « الاجاصية الشكل » التي تتخذها كتلة سائلة تدور بسرعة متزايدة . ولهذا الموضوع بعض الاهمية في نظرية تكوين الكون .

وقامت مدرسة سوفياتية ناشطة جداً بحركها م . سوبوتين Subbotin وج . خيلمي Khilmi وج . ميرمان Merman وآخرون فجمعت نتائج مفيدة حول مسألة الاجسام الثلاثة .

النسبية - وكان على علم الفلك أن يثبت أحد المفاعيل النادرة القابلة للاكتشاف والتي دلت عليها نظرية النسبية العامة (الفقرة II ، الفصل II ، القسم الثاني) : « انحراف الأشعة الضوئية » بجوار الشمس . ومنذ أن توصل انشتين إلى حساب هذا الانحراف (1916) وقمت سبعة كسوفات فقط في ظروف صالحة لتصوير الحقل الكوكبي المجاور . وقد رصد الانحراف تماماً ، ولكن القياسات اختلفت بشأنه ، وكان متوسطها يزيد على الأقل بمقدار العشر عن القيمة النظرية البالغة 1,75".

من بين التصحيحات العديدة التي أدخلتها نظرية النسبية على الميكانيك السماوي ، لا يتيح التدقيق القائم حالياً لمعطيات الرصد ، إلا التمسك بما يتعلق بسموت الكواكب ، على ان يضاف إلى هذه التصحيحات تقدم زمني حسب شوارزشيلد Schwarzschild سنة 1916 . وكان التقدم المهم الوحيد البالغ 42,92" يتعلق بعطارد . وقد جاء هذا التقدم يسد تماماً بقية رصد كان خفياً حتى ذلك الحين (مجلد III) ؛ ووجدت نظرية انشتين تأكيداً جاءت التحليلات الحديثة لحركة عطارد تثبت : ان القيمة التجريبية للبقية قدرها دونكومب Duncombe سنة 1958 كما يلي $(44 \pm 0,43)$. والاتفاق ممتاز أيضاً بالنسبة إلى بقية الكواكب بما فيها المريخ .

نظرية القمر والكواكب - إن نظرية أي جسم تتألف من التطورات التي تصيب المعايير الثابتة التي تحدد موقع الجسم ، تبعاً للزمن ، مباشرة أو غير مباشرة .

وحتى الآن يتوجب على صاحب النظرية أن يقوم عملياً بحفره بأكبر قسم من العمل ، وكل مرحلة محكومة بسابقتها . ولهذا قلما يتم التركيز إلا على سد الثغرات الأكثر أهمية في النظريات السابقة التي كان لوفريه ، وهيل ونيوكمب قد وضعوها : وقام غايو Gaillot بالنسبة إلى زحل بهذا الأمر سنة 1904 وإلى المشتري سنة 1913 ، وقام روس بذلك بالنسبة إلى المريخ سنة 1916 . أما القمر الذي لم تكن له نظريات مقنعة فقد شكل شلوداً . وابتداءً من سنة 1896 كرس أ . براون Brown نفسه للقمر ، فطبق الطريقة التي وضعت سنة 1877 من قبل هيل ، وهذه الطريقة مشتقة من اقتراح قدمه أولر سنة 1768 : مفاده تصوير الحركة بواسطة مدار متحرك ذي ضخامة ثابتة . وتطلب الحساب العددي للسلاسل المثلثاتية ما يقارب من عشرة آلاف ساعة . وكانت نظرية براون (1909) والجداول التي استخرجها منها سنة 1919 في أساس التقاويم الحديثة (التقاويم القمرية المنقحة ، 1954) وفي أساس معارفنا حول تغير الدوران الأرضي .

وفي سنة 1948 غير استخدام الحاسبات الالكترونية الوضع تماماً . في المقام الأول أصبح بالامكان الحصول على تقاويم ، بصورة مباشرة ، دون الاستعانة بالنظريات التحليلية ، وذلك بدمج - عديداً - نظام المعادلات التفاضلية ، والمعالجة العددية للمادة المنوفرة من معطيات الرصد . وحسب على هذا الأساس جداول الكواكب الخمسة الخارجية (من قبل ايكوت وبيرو وكليمانس سنة 1951) وكذلك جداول الشمس والزهرة (من قبل هرغت ، 1953 ، و 1955) . فضلاً عن ذلك يمكن تصحيح نظرية ما على أساس المعطيات السابقة وذلك بتحسين قيم المعاملات . هكذا تصروف كليمانس بالنسبة إلى المريخ سنة 1961 . وأخيراً أن وضع النظريات

التحليلية تحت تناول الحاسبات الالكترونية يمكن من التصحيح ، عندما تلقم هذه الحاسبات ببراهين التغيير . هذه الطريقة نصف التحليلية ، ونصف العددية يرجى منها خير أكبر ؛ فهي تواجه المسائل العامة التي كانت حتى ذلك الحين ذات حلول ميثوم من تقدمها . وقد بوشر بهذه الطريقة سنة 1959 .

في سنة 1895 ذكر نيوكمب إن ثلاث مفارقات بين النظرية والملاحظة ظلت بدون تفسير وهي مفارقات متعلقة بالحركات المزمدة في نقطة الرأس Perihélie من عطارد وفي نقطة الرأس أو السميت من المريخ وفي عقدة الزهرة . وسرعان ما أضيف لها ما تبقى من القمر في الطول .

وبعد التصحيحات النسبوية وتحسين قيم كتل الكواكب ، وتصويب سلم الزمن الارضي ، يلاحظ اليرم أن النظرية النيوتنية (المصححة بفعل النسبية) أدت إلى تصوير صحيح ما أمكن ، للحركات في النظام الشمسي .

إن مصدر التقدم الجديد يجب أن يتوقع من خلال الاختلافات المأمول ظهورها بعد ازدياد الدقة في المعطيات . حول هذه النقطة يمكن توقع الكثير من التطور المستقبلي في النابعات أو الاقمار الصناعية وحول موضوع المسائل الأكثر تنوعاً مثل مواضع كتلة القمر والكواكب الدنيا والموقع الشمسي parallax ، وتحديد وقت الروزنامة ephémérides والارتباط الهندسي لمحطات الرصد الأرضية .

٧ - الشمس ، الكواكب ، القمر

شاهدت السنوات الأخيرة تطور تقنيات استكشاف مباشر للفضاء ، سبق وقدمت نتائج جديدة تماماً ولكنها أدخلت بشكل خاص في علم الفلك ثورة في بداية انطلاقتها ، والتي أمكن التنبؤ بها ، بانها سوف تكون بمثل أهمية الثورة التي أثارها اختراع المنظار الفلكي ، منذ ثلاثة قرون ونصف .

ونتجت هذه الثورة ، كما هي الحال عموماً ، عن منعطف حاسم في إمكانيات الآلات : المنعطف الذي أصبح من المأمول بسببه . وبعد وضع أجهزة في نقطة ما (ضمن حدود ما باقية !) في الفضاء - القيام بقياسات أما حول صفات الوسط المحيط - في الموقع - وأما حول الأشعاعات التي تنتشر فيه ؛ من هنا - في الحالة الأخيرة - امكانية اجتناء - حول أشياء ما تزال خارج تناول - ملاحظات مستحيلة مادياً انطلاقاً من الأرض ، ولكنها تصبح مأمولة انطلاقاً من نقطة ما بعيدة ثم أصبحت في تناول .

فإذا عرفنا أن مثل هذا الاستكشاف لا يصل حتى الآن وسيبقى كذلك لأمد بعيد ، بالتأكيد ، إلا إلى مناطق قليلة البعد نسبياً عن الأرض ، وإلا إلى النظام الشمسي ، واقماً ، عندها نفهم إن تحرير هذا الفصل المخصص له ، يختلف تماماً - في توازن عناصره المتنوعة - عما كان يمكن أن يكون عليه من قبل ، منذ سنين قليلة .

1- الشمس

إن الاهتمام بالدراسات الشمسية ، الأكبر بكثير اليوم مما كان عليه سنة 1900 ، يعود إلى واقعيتين :

- إن الشمس هي كوكب وسط أسهل للرصد بالتفصيل من أي كوكب آخر .
 - إن للشمس أثراً مباشراً على الكواكب (ومنها الأرض) وعلى الوسط بين الكواكب .
- إن أياً من هذين المظهرين وإن عرفا من قبل ، لم يكن له ، سنة 1900 ، قوة الفكرة الموجهة ، وتاريخ علم الفلك الشمسي ، منذ هذا التاريخ ، هو بالضبط تقريباً تاريخ تطور هذه الأفكار ، بما يوازي تقدم المعدات والأرصاء التي أتاحها هذه المعدات .
- الشمس كوكب وسط - أن تكون الشمس نجمة شبيهة بالنجوم الأخرى ، يمكن تصوره بنوع من اليقين الكمي ، حالما تعرف المسافات ، أي البهرة المطلقة ، لبعض من هذه الكواكب الأخرى . أما المعرفة المفضلة بقشراتها الخارجية ، فهي كبيرة منذ سنة 1900 . وليست الوقائع هي التي تنقصنا هنا ، ولا الخيط الموصل الذي يتيح الربط فيما بين ظاهرات مرصودة على حدة ، ثم أيضاً ربط حالة الشمس بحالة الكواكب الأخرى .

ولكن ، في سنة 1905 فُكر أ . هرتزسبرونغ لأول مرة ، في وضع خط بياني يبين العلاقة بين النمط الطيفي (ويوجه عام درجة الحرارة السطحية) من الكواكب وبين لمعانها المطلق . وظهرت الشمس في هذا الخط البياني في وسط المنطقة الأكثر غنى وكثافة ، منطقة الأقزام من النمط G ، ذات درجة الحرارة المتوسطة ، وذات اللمعان المطلق الوسط ، وربما ذات العمر الوسط . وفي هذا يكمن شرط ضروري على الأقل لشريعة فرضية العمل الفائلة بأن ما لوحظ حول الشمس يلاحظ أيضاً حول كواكب أخرى إذا سمحت بذلك الوسائل المادية . وفي نفس الحقبة ولدت نظريات تتعلق بالبنية الداخلية للكواكب ، وارتدت هذه النظريات مظهر الظاهرات في الطبقات الخارجية ، المرئية وحدها ، والقابلة للملاحظة بصورة تفصيلية من قبلنا حول كوكب واحد هو الشمس . إن أهمية دراسة هذا الكوكب الوسط القريب من الأرض هي بعد ذلك أكيدة .

في سنة 1906 أشار ك . شوارتزشيلد (1873 - 1916) إلى الشرط الذي بموجبه تتحقق التحركات الحرارية Convectifs داخل كوكب ما وطرح - دونما حل - مسألة التعرف الكمي على الحبيبة granulation الكروية الضوئية عند الظهور العياني للظواهرات الحرارية Convectifs داخل الشمس .

وبعد ذلك بخمسين سنة ، لم تلق المسألة جواباً مرضياً بشكل كامل . وعلى الصعيد النظري ، نشر آ . اريغتون (1882 - 1944) سنة 1926 أعماله حول باطن الكواكب ضمن فرضية التوازن الاشعاعي - نقل الطاقة بفعل الاشعاع وليس بفعل تحرر [من حرارة] المادة - وانطلاقاً من سنة 1930 ، عاد آ . انسولد Unsold والمدرسة الألمانية إلى المسألة من أجل احتساب التحرر والاشعاع بأن واحد .

ومع ذلك ، إن التقدم الحديث في ارساء سطح الشمس النير (الفوتوسفير) (Photosphère)

لم يفسر أو يشرح القارق بين الواقع والتفسير النظري ، وأكثر من ذلك ، ظهرت ظاهرات ديناميكية جديدة ، لم تيسر أو تسهل هذا التأويل .

ولكن الانجازات الجديدة في معرفة الشمس ، تحققت بفضل تطوير المعدات والآلات .

وكان القياس الأول من حيث التاريخ هو قياس الحقول المغناطيسية في البقع الشمسية من قبل ج . أ . هال سنة 1908 . لا شك إن هذا القياس لم تكن له انعكاسات كبرى مباشرة . ولكنه شكل منطلقاً لنظرة اجمالية احتلت مكانة من الدرجة الأولى : منذ أن استطاع - بفضل التقدم التقني المتنوع - هـ . د . بابكوك Babcock ، وهـ . و . بابكوك في بامادينا ، وآ . ب . سيفرني Severny من مرصد جزيرة القرم ، وابتداء من سنة 1952 ، قياس الحقول الضعيفة والمحدودة المكان ، وقد أمكنت معالجة الحقل المغناطيسي الشمسي ، في أقسامه الأكثر ثباتاً أو المتقلبة ، وكذلك معالجة هيكلية غالبية الظاهرات التي تعترى الطبقات الخارجية في الشمس .

والقياس الثاني هو الرصد الذي قام به ب . ليوت Lyot (1897 - 1952) للنجاح الشمسي بدون كسوف كامل وذلك بفضل قيامه سنة 1930 بوضع « المسجل التاجي » (Coronographe) المستعمل في مرصد ارتغاعي (قمة - الوسط Pic-du-Midi) من أجل تفادي الانتشار الفضائي . إن تزايد عدد الخطوط المرصودة ، ودراسة جوانبها وتغيراتها النسيية ، وكذلك التقدم في حقل المطيافية النظرية أوصلت ب . ادلن Edlén سنة 1941 إلى كشف طبيعة هذه الخطوط بأنها تعزى إلى ذرات - من حديد خاصة - شديدة التأين . إن المجلد المتضخم بشكل كبير في المعطيات قد أتاح ، بعد ذلك ، رؤية وسط - في النجاح - ذي أهمية بالغة سواء بالنسبة إلى فهم التحول نحو الخارج - الحاصل في الاشعاع الشمسي - أم باعتبار هذا الوسط كعنبة مادة ضمن ظروف استثنائية .

وإلى ب . ليوت أيضاً يعود الفضل في انه وضع سنة 1943 المصفاة الوحيدة اللون والمكثفة والتي سوف تتيح - بفضل التصوير السينمائي للظاهرات التلونية الكروية والتاجية - انتشار افكار كانت يومئذ ما تزال مصنفة بشكل غير كامل لأنها كانت جديدة ، وإن كانت بكل تأكيد متناهية الخصب .

وهناك حدث آخر حاسم - وإن كان متوقفاً إلى حد ما ، ظهر في الواقع ، هو أيضاً بسبب ادخال تقنيات جديدة - هو اكتشاف الاشعاع البث كهربائي للشمس ، في سنة 1942 ، من قبل ج . س . هاي وف . ج . م ستراتون (1881 - 1960) . انه عقب الحرب العالمية الثانية بشكل خاص استطاع البث الكواكبي أن يمتد ويتسع بشكل ضخم خاصة فيما يتعلق بالشمس ، حيث شكلت الدراسة ، على مختلف الموجات ، سيراً حقيقياً لعمق النجاح .

وأناحت انجازات تقنية أخرى ، وبصورة منهجية ، استكشاف الطيف الشمسي بشكل واسع من جهة الموجات القصيرة جداً . وفي 10 تشرين الأول 1946 ، حمل صاروخ من نوع V₂ ، أطلق من وايت ساندس (في نيومكسيكو) ، ولأول مرة آلة تصوير طيفية فوق طبقات فضائية ماصة للأشعة فوق البنفسجية . وبعدها أخذت البحوث تتسع بشكل ملحوظ ، وأصبح بالإمكان معرفة تفاصيل الطيف الشمسي فوق البنفسجي حتى التحامه بأشعة X وأشعة γ (غاما) .

ولكن إذا كانت المعارف حول الشمس قد اغتنت بشكل ضخم ، وبكل الاتجاهات بتفاصيل شكلانية ، وظاهرات فيزيائية وتطورها في الزمن ، والامتداد الضخم في سلم التواترات الكهرمغناطيسية المدروسة - فأي شيء ، في هذه المكتسبات الجديدة ، لم يكن يوحي بأن الشمس تختلف عن الكواكب الأخرى . وبقي مقبولا القول بأنها تصلح أيضاً كمعارف حول الكواكب الأخرى ذات الصفات العامة المماثلة كمياً لصفات الشمس .

الشمس ، مصدر قريب . العلاقات بين الظاهرات الشمسية والارضية - ان البشرية ، المتعودة على العيش في حقل الاشعاع الشمسي المصفى بفعل الفضاء الارضي ، قد استطاعت أن تعتبر الشمس كمصدر للطاقة ثابت وكامل . إن وجود البقع ، التي تختلف أهميتها بخلال الدورة اللاعشرية (undécennal) التي عرفت في القرن التاسع عشر ، كذب هذه الثبوتية ، والتقريب الذي حصل سنة 1851 ، بين هذا التغير وبين تغير الذبذبات اليومية diurnes لميل الحقل المغناطيسي الارضي ، أظهر وأبرز المثل الأول للعلاقة بين الظاهرات الشمسية والارضية .

ان هذه العلاقة ، التي وسعها في سنة 1903 أ . و . موندرا (1851-1928) Maunder بعد أ . مارشان فأشملها حالة العواصف المغناطيسية المرتبطة بوجود بقع في موقع ليس ببعيد عن خط الهاجرة المركزي من الشمس ، أدت إلى فكرة « الانفجار الشمسي » المقترن ببث جسيمات تصل إلى الارض في نهاية يوم تقريباً .

وبند نفس الحقبة ، أوحث ظاهرة أرضية أخرى ، هي الفجر القطبي ؛ بفكرة ان هذا الفجر قد يترجم وصول هذه الجسيمات إلى الطبقات العليا من الفضاء ، عند وجود حقل مغناطيسي أرضي . وقد كان من المفري أن نحاول استحداث شبيهها براسطة حُرُف « الأشعة الكاثودية » . المكشوفة حديثاً - ضمن حقل مغناطيسي كروي يصور الأرض ؛ فكانت تجارب « التريلا » Terella التي قام بها ك . بيركلاند (1867-1917) حوالي سنة 1910 ، وتبعها أعمال طويلة رصدية وحسابية قام بها ش . ستورمر (1874-1957) . ومع ذلك ، بقي كل ذلك ولمدة طويلة في حالة الفرضية المغرية .

وكانت الرسيمة بعد ذلك قد وضعت ، والجسم الواسع للعقيدة التي تكاملت بعد ذلك ، احتفظ بهذه الرسيمة ، إذ - وهذا حدث ملحوظ - إن كل تقدم تقني ، حتى ضمن سبل جديدة للغاية ، أعطى في هذا المجال معطيات يتزايد وضوحها ، جاءت تندس في هذه الرسيمة البدائية .

وعلى مستوى الشمس ، اثبت تعميم الاستعمال ، منذ بداية القرن ، وتحريض من ج . أ . هال (1868-1938) ومن ه . ديلاندر (1853-1948) Deslandres للمطياف الشمسي Spectro-héliographe القسم الابصاري من الانفجار . وتوسيع الأرصاد ، منذ 1938 ، بواسطة الكورونوغراف coronographe ، كورونوغراف ليوت Lyot أظهر معاكسة داخل الناج ، والاستعمال المنهجي ، للمصور الوحيد اللون ، الذي وضعه ليوت أيضاً ، ابتداءً من سنة 1950 كثر عدد الانفجارات المرصودة ، في حين أثبتت المسجلات المغناطيسية magnétographes الدور الأولي الذي تلعبه الحقول المغناطيسية الكاملة . ثم ، ابتداءً من سنة 1945 أظهر استكشاف البث

الاشعاعي الكهربائي الصادر عن الشمس أنواعاً كثيرة من الظاهرات الدالة على مرور الأشعة في التاج ، سواء كانت كهرومغناطيسية أو جسيمية بعد صدورهما عن السطح المرئي للشمس photosphère أو عن الكروموسفير Chromosphère (طبقة غازية تحيط بالشمس) مرة بالتاج قبل انتشارها في الفضاء ما بين الكواكب .

ولكن ، بالمقابل ، تطورت المعرفة بالاثار الأرضية بشكل حاسم . فمنذ 1972 ، لاحظ موجل Mogel ، تلاشيات مفاجئة متكررة تصيب انتشار الموجات القصيرة ، وأشار إلى علاقتها بالاضطرابات المغناطيسية ، وفي 30 آب 1935 ، ولأول مرة ، أشار ريشاردسون في مرصد ويسلون إلى التناوب بين مثل هذا التلاشي ، وبين الانفجار الشمسي . وثبت الحدث ودرس فيما بعد ، مع علاقته بخصائص اليونوسفير Ionosphere ، من قبل العديد من المؤلفين ، ومنهم ر . جروست ور . بوروفي فرنسا ، ولكن الفترة الوجيزة بين الانفجار الشمسي والآخر التأيني الكروي (الأيونوسفيري) يدل على مفعول يتم بفعل الاشعاع الكهرومغناطيسي ، لا الجيمي . وحدها الاشعاعات فوق البنفسجية ذات الموجة القصيرة يمكن أن تحدث تغييرات في تأين الفضاء الأعلى تعتبر مسؤولة عن الشذوذات في الانتشار : إن الطبقات الأكثر انخفاضاً في الفضاء توقف تماماً مثل هذه الاشعاعات ، مما أدى ، ولفترة ما تزال قائمة ، إلى المناداة بوجودها سناً لأسباب جديدة .

وحوالي نفس الحقبة ، تم الحصول على الاشارات الأولى الدالة على تلطيف السدق الجيمي ، بفعل الظاهرات الشمسية وذلك بفضل تسجيلات الاشعاع الكوني التي بفضلها سجل ر . فوربوش « انخفاضات baisses » مرتبطة بالعواصف المغناطيسية ، في هذه الأثناء ، وفي بعض المناسبات ، رصدت زيادات عنيفة وكذلك رصدت انفجارات شمسية ، وكان القياس الذي قام به يمثل سنة 1950 أكثر مباشرة وأكثر دقة ، والذي تناول السرعة الاشعاعية للبروتونات المسؤولة عن بث خيوط الهيدروجين في الفجر القطبي .

وأخيراً ، استخدمت الصواريخ والاقمار الصناعية والمركبات الفضائية ، منذ وضعها في الاستعمال ، وإلى حد بعيد لدراسة الاشعاع الشمسي المتوقف بفعل الفضاء الارضي أو لدراسة خصائص الوسط ما بين الكواكب المتنوعة البعد عن الأرض . وهناك تاريخان يستحقان الذكر - الأول : في 13 آذار 1959 أعطى صاروخ أول صورة للشمس من خلال الاشعاع فوق البنفسجي ليمان الفا (Lyman α) المعتبر من زمن بعيد مسؤولاً عن تأين الفضاء الأعلى الارضي ؛ والثاني في 20 آب 1959 ، ولأول مرة قدم قمر صناعي (اكسبلورر VI) قياسات مكانية in Situ لاجتياز غيمة من الجسيمات المبثوثة أثناء انفجار شمسي .

إن هذه النتائج كلها قد أضافت الكثير إلى التماسك القائم بين الأرصاد ذات الانماط المختلفة والمتعلقة بالعلاقات بين الظاهرات الشمسية والارضية ويمكن ، بدون شك - في سنة 1963 - اعتبار المجهول كامناً في اطلاق ظاهرات فوق الشمس ، أكثر من كونه في تطور الانعكاسات البعيدة لهذه الظاهرات .

ولكن ، إن كل ما تقدم يتعلق بصورة أساسية بظواهر عرضية تحدث ضمن سَلَمَ زمني يتراوح بين عدة دقائق وعدة ساعات فوق الشمس ، أو عدة أيام بالنسبة إلى الانعكاسات الأرضية . وقد أمكن بسهولة اكتشاف تكرار حقبة تساوي مدة الدوران الظاهرية للشمس (27 يوماً) في ظهور بعض هذه الظواهر ، المرتبطة بفكرة « المركز الناشط » فوق سطح الشمس ، أي وجود منطقة يؤدي مرورها الدوري بمركز القرص إلى زيادة احتمال ظهور ظواهر أرضية سبقت الإشارة إليها أعلاه .

وأخيراً ماذا حصل للأفكار التي ارتقت في القرن الماضي ، حول التقلبات ذات الامد البعيد والحاصلة في التأثيرات الشمسية ؟ من المؤكد أن هذه التقلبات تنبثق عن التقلبات التي تصيب المراكز الناشطة ، وعن عددها بخلاف الدورة اللاعشرية undécennal . وهكذا نعود إلى الفكرة التي قال بها ر . وولف Wolf ، مع العدد الذي يحمل اسمه والذي حدد اصطلاحاً ، سنناً للعدد وسنناً لامتداد البقع المرئية . ولكن من البارز أن البقع ، وهي الدلائل الوحيدة التي تتم عن مراكز النشاط المعروفة منذ مئة سنة ، ليست إلى حد بعيد مظاهرها الأكثر دلالة ، وأنه بسبب انعدام المؤشر الأكثر وثوقاً ، والأكثر بساطة ، ما نزال نستعمل « عدد وولف » nombre de Wolf .

ولكن جرى البحث عن كثرة كثيرة من الارتباطات بين هذا العدد (عدد وولف) وكميات متداخلة في الظاهرة الجيوفيزيائية ، الفيزيائية الكيميائية ، أو البيولوجية الأكثر تنوعاً ، وأي من هذه الارتباطات ، حتى الأكثر وضوحاً منها - وكلها ليست واضحة - لم يبرز ظاهرة ذات ضخامة . ولا يمكن الاندهاش من ذلك ، بعد أن عُرِفَ أن مفعول الشمس يتم باشعاعات كهرومغناطيسية أو جسيمية لا تبلغ القشرات الفضائية السفلى حيث تجري الظواهر المدروسة ؛ إن الانعكاسات - التي لا يمكن استبعادها بصورة مسبقة - في هذه القشرات هي بالضرورة ملطفة أو بمنمنمة من حيث الضخامة ، وممتدة في الزمن .

إن تاريخ هذه البحوث يكون ناقصاً إذا لم نُشرِ إليها ، من حيث تطلبها لاستمرارية الرصد والمراقبة ، كانت من بين البحوث التي ساهمت أكثر في خلق تعاون علمي دولي . منذ سنة 1904 أنشأ ج . أ . هال « الاتحاد الشمسي الدولي » ، الذي أصبح في سنة 1919 الاتحاد الكواكبي الدولي . في سنة 1925 شكل المجلس الدولي للاتحادات العلمية ، زيادة على ذلك ، لجنة مختلفة خاصة من أجل درس هذه المسائل . وأخيراً تقرر - بالنسبة إلى الفترة من أول تموز 1957 حتى 30 كانون أول 1958 ، من أجل التغطية القصوى للنشاط الشمسي - ، تنظيم « السنة الجيوفيزيائية » . إن نتائج هذا المؤتمر كانت في مجال العلاقات بين الشمس والأرض بحيث تم تمليدها لمدة سنة ، وإنها انبثقت عنها لجنة دولية جيوفيزيائية غير محددة المدة ، وقد انبثقت عن هذه اللجنة مبادرات من أولها إقامة « السنة الدولية للشمس الهادئة » ، في حقبة تدني النشاط الشمسي بين 1964 و 1965 ، وبخلالها يؤمل تحديد أفضل لمفاعيل مراكز النشاط النادرة التي يمكن أن تعرض مستقبلاً .

2 - النظام الشمسي

الجرد والأبعاد - كان النظام الشمسي هو المجال المفضل بالنسبة إلى الميكانيك السماوي

في القرن التاسع عشر ، ويمكن اعتباره في سنة 1900 معروفاً تماماً فيما يتعلق بحركات الأجسام التي تؤلفه ، وفيما يتعلق بجدول هذه الأجسام بالذات . ان بعض المراحل التاريخية تستحق مع ذلك الإشارة .

فالكواكب التي اكتشفت في النظام الشمسي بخلال نصف قرن - بعد استبعاد المذنبات التي يفد منها عدد كل سنة - تصنف ضمن ثلاث فئات . وأكثرها عدداً هي فئة الكواكب الصغيرة : وقد صُنّف منها 449 كوكباً سنة 1900 و 1647 كوكباً سنة 1960 . ولا شيء هنا يمكن ان يثير الدهشة نظراً لتحسين التقنيات الفوتوغرافية ؛ ولا شيء أيضاً يقدم تغييراً كبيراً حول الافكار المقررة .

وربما كانت التابعات الجديدة المكتشفة حول بعض الكواكب ، أكثر أهمية بالنسبة إلى النظريات الكونية التكوينية : فهناك أولاً التابعات البعيدة عن المشتري : فالسامس والسابع اكتشف سنة 1904 وسنة 1905 من قبل ك . د . برّين ، والثامن اكتشف سنة 1908 من قبل پ . ج . ملوت Melotte والأربعة المكتشفة من قبل س . ب . نيكولسون Nicholason سنة 1914 و 1938 (العاشر والحادي عشر) وفي سنة 1951 . ثم ، التابعات التي اكتشفها ج . پ . كوير Kuiper سنة 1948 و 1949 ، وخامس تابع لاورانوس ، المسمى ميراندا ، هو أقرب إلى الكوكب من الأربعة السابقة المعروفة ، والتابع الثاني لنبتون ، المسمى « نيريد » ، أبعد بكثير من « تريتون » .

وأخيراً ، اكتشف في سنة 1930 الكوكب الفريد من نوعه ، الكوكب الأبعد من نبتون ، المبحوث عنه بالحاح ، والمتنبأ به كثيراً في كل نقطة من فلك البروج ، من قبل ك . و . طومبوغ Tombaugh ، وقد سمي پلوتون ؛ وكان اكتشافه نتيجة بسيطة « للدوريات » الفوتوغرافية المنظمة ، الامر الذي أوصل الحدود الخارجية للنظام الشمسي إلى ما يعادل أربعين ضعفاً ، لشعاع المدار الأرضي .

وقد بذلت جهود حثيثة من أجل تحسين المعرفة بالأبعاد المطلقة للنظام الشمسي (مراجع بهذا الموضوع دراسة ج . ليشي ، الفقرة السابقة) . وقد أدى الاستعمال الحديث للتقنيات الاشعاعية الكهربائية (راديو الكترينك) إلى تقدم ضخم في مجال الدقة . ويجب القول أن الامر لا يتعلق اطلاقاً ببذل جهد من أجل غاية نظرية : فبعد ذلك أصبحت الضرورة ملحة لوجود خارطة للنظام الشمسي ، دقيقة ما امكن بالكيلومترات ، من أجل اعداد ومن أجل توجيه المسارات عبر الكواكب كما كانت الحال فيما يتعلق بالخارطة البحرية بالنسبة إلى البحارة في القرن الأخير .

ولكن الاندفاع الكبري - التي انطلقت ، في أواخر القرن التاسع عشر ، والتي تباطأت في النصف الأول من القرن العشرين ، والتي نمت ، منذ حلول عصر الفضاء ، بقوة لم يسبق لها مثيل - هي الاندفاع التي توجهت نحو معرفة الكواكب فيزيائياً .

فيزياء الكواكب - هنا لا تعطي كلمة « فيزياء » المعنى الضيق الذي يعطى لها في المختبر أو في التعليم بل تعطي معنى أوسع : ما هي طبيعة الكواكب ، مما هي مصنوعة وكيف صنعت . ويمكن أيضاً إضافة سؤال : ماذا يجري فيها ؟ لأن الاهتمام بهذه المواد منذ مئة سنة -

وهذا ما يجب ذكره - كان موضوع آمال ، محقة أو غير محقة ، في العثور في الكواكب على عوامل شبيهة إلى حد ما بعوامل الأرض ، وفي التحليل الأخير ، إمكانية الإجابة على السؤال الكبير حول « تعددية العوالم المأهولة » .

لا شك في هذا الشأن ان الاعلان الذي صدر سنة 1877 عن ج . ف . شياپارلي بأن اكتشافه قنوات في المريخ ، في كل مقتضياته ، كان حافزاً استثنائياً بالنسبة إلى الارصاد الكواكبية ، ولكن المسمى قد خف فيما بعد ، نظراً لانعدام الآمال المتوقعة ، وان تقدم علم الفلك في النجوم السيارة (Planétaire) وان بدا محزناً ، لم يكن مشابهاً ، لا في الحجم ولا في العمق ، للتقدم المحرز في علم الفلك النجمي (Stellaire) . ولكن ما ان سنحت فرصة الاستكشاف المباشر في مستقبل قريب بشكل معقول ، حتى صعد الطلب بشكل عامودي : ان كل المعلومات التي يمكن أن تؤمنها الارصاد الأرضية لن تكون كافية من أجل التحضير للرحلات المستقبلية .

وكانت استنتاجات شياپارلي موضوع جدل فلم تشر لحسن الحظ الا التقاش ، والا الارصاد الجديدة ، وبرز الرهان مهماً للدرجة انه استدعى انشاء مراصد خاصة ، كما خصصت للبحوث الكواكبية - بعد توسيعها لتشمل عطارد والزهرة وخاصة المشتري وزحل - بعض من أكبر الآلات الموجودة . وهكذا أقام پ . لويل في فلاغستاف (اريزونا - الولايات المتحدة) ، كاسراً للأشعة قطره 61 سنتم ، واستخدم أ . أ . بارنارد كواسر ذات 91 سنتم في مرصد ليك (كاليفورنيا - الولايات المتحدة) وذات 102 سنتم في مرصد يركس (ويسكونسن - الولايات المتحدة) وأ . م . انطونادي ذات 83 سنتم في مرصد مودون Meudon .

إلا أن هذه الأعمال تناولت الطوبوغرافيا التفصيلية ، وتغيراتها أكثر مما تناولت تحديد ماهية المواد التي تتألف منها الفضاءات ، أو سطوح الكواكب . انه ابتداء من 1900 حصل و . م . سيلفر ، في مرصد لويل على أطيف كواكب ، ولكن متابعته الطويلة ، في هذا المجال ، لم تكشف له عن أية خصوصية قابلة للتعريف في أطيف عطارد والزهرة والمريخ ، وبالعكس من ذلك ظهرت في أطيف المشتري وزحل وأورانوس ونبتون أحزمة امتصاص متميزة جداً ، انما مجهولة المنشأ حتى سنة 1930 .

وانه في سنة 1931 ، استطاع ر . ويلدت ، بعد ارتكازه على نتائج جديدة مخبرية ، ان يبين انها مكونة أساساً من الامونياك ومن الميثان ، وفي نفس الحقبة اكتشف و . م . أدامس وت . دونهام في مرصد جبل ويلسون أحزمة من غاز الكربون في فضاء الزهرة . وأثبت تقدم هذه البحوث الطيفية الرصدية ، وخاصة توسيعها لتصل إلى ما يقارب تحت الأحمر من قبل ج . پ . كبير بعد الحرب العالمية الثانية ، النتائج الحاصلة وخصص لمكونات الفضاءات الكواكبية من هذا الغاز أو ذاك - بعد العجز عن اكتشافها - حدوداً عليا . وإذا كان البحث فوق المريخ عن الكلوروفيل قد فشل ، فيجب على كل حال ذكر اكتشاف الأحزمة تحت الحمراء المميزة للجذر CH في الخلايا العضوية من قبل و . ستون Sinton سنة 1959 .

ولكن هناك سبيل آخر خصص للفاية قد فتحه ب . ليوت عندما وضع سنة 1923 بولاريمتراً

Polarimètre شديد الحساسية ، يستطيع أن يدرس تغير استقطاب الضوء المبعوث تبعاً لزاوية الرؤية ، سواء فيما يخص السطح الكوكبية أم فيما يخص المواد الأرضية المختلفة ، وبالتالي ان يجري مقاربات ومقارنات . ان استخدام هذه التقنية - يضاف إليها البحث عن ظروف لتعريف أفضل للصورة ، البحث المتقدم جداً الذي قدمه ب . ليوت ابتداء من سنة 1941 - قدم لدلفوس (A. Dollfus) نتائج عدة ومفصلة حول المريخ ، وقدم سنة 1950 تخميناً لفضاء عطارده بمعدل ثلاثة على ألف من فضاء الأرض .

وبأن عملاً الأرصاد الطيفية والاستقطابية القياسية على تقديم تقديرات للكشافات الفضائية والحرارية السطحية . وكانت النتائج شبه متسقة فيما يخص المريخ ، ولكنها كانت غير مؤكدة بالنسبة إلى عطارد ، والزهرة ، والمشتري (جويتر) وزحل . ان قياسات الاشعاع الكهربائية اللاسلكية لم تكن الا لتزيد الخلافات عندما لا تكشف عن بث خاص بها غير حراري ، وغير مفسر حتى ذلك الحين (المشتري ، 1957) .

وبالطبع ، تامت وتطورت فرضيات جديدة حول تشكل النظام الشمسي ، تبعاً لما حققه واتجه كل من علم الفلك والفيزياء . ان النظريات المرتكزة على التصادمات ، والتي ما زالت يومئذ يدافع عنها ج . جينس J. Jeans قد فقدت من قيمتها لصالح النظريات التي تتخيل - بشكل أكثر مصادقة من الماضي - تجمد الكواكب انطلاقاً من مادة مبعثرة منتشرة ، مثل النظريات التي اقترحها سنة 1943 . ك . ف . فون ويزساكر ، وسنة 1948 و . شميدت (يراجع بهذا الشأن ب . كودير Coudere ، الفقرة XIV من هذا الفصل) .

تلك كانت هي الحالة عندما أطلقت أول مركبة فضائية « فينوسيك » Venusik مخفضة لدراسة الكواكب عن قرب في 12 شباط 1961 . ويمكن التأكيد بأن السنوات المقبلة سوف ترى - بفضل تكنولوجيا قوية ، هي قيد الاعداد - الحل المباشر وبدون فرضية لبعض الاحاجي التي شغلت أجيالاً من الفلكيين المعشبين بالأرض .

3 - القمر

وما يصح فيما يخص الاهتمام بالبحوث الكوكبية يصلح أكثر بالنسبة إلى القمر . فقد درس القمر بشكل كامل في القرن التاسع عشر فيما يتعلق بحركاته ، وُصِفَ بشكل كافي في تفصيلاته من أجل تبرير القناعة إن لا شيء يجري على أرضه . وانه ليس بالامكان أخذ الشيء الكثير منه مما يصلح لأن يعمم على بقية المسائل ، فبقي (أي القمر) لمدة طويلة أحد الكواكب المهملة عند الفلكيين . والمشروع الوحيد الكبير الذي كان هو موضوعه - إلى حين حصول التطورات الاحداث - هو وضع « الأطلس الفوتوغرافي » الذي انجز بين سنة 1890 و 1910 من قبل م . لويوي Loewy وب . بويزو P. Puiseux . وكان عملاً جليلاً ، ولكنه لم يستخدم لاحقاً بما يعادل الجهود المبذولة من أجله . والاكتشاف الوحيد المرموق فيما يخص سطح القمر ، هو الاكتشاف الذي حققه ب . ليوت سنة 1926 بتعيين منحناه الاستقطابي وتماھيه مع المنحنى الاستقطابي للرماد البركاني . ولكن سريعاً عقب الحرب العالمية الثانية ، اتضح انه في الوشيك العلجل ، لا بد من بلوغ

القمر ، وكان في هذا تغيير حاسم في الوضع . فقد انصرف الفلكيون ، والكيميائيون ؛ والجيولوجيون ، وواضعو الخارطات لمعالجة المسألة من بعد مختلف تماماً عن البعد الذي ترتديه المسائل الأخرى الفلكية ، مع وضوح الفكرة الرامية إلى البحث عن معرفة ما يوجد على القمر عندما نلامسه - بفضل معدات لا تقام بها أبداً المعدات التي خصصت حتى ذلك الحين في هذا المجال . وكذلك الحال بالنسبة إلى نشأة المدرجات والفوهات فوق سطح القمر ؛ أهى بركانية أم نيزكية ؟ وبدا الميزان مائلاً ، اليوم ، نحو الفرضية الثانية .

وبذات الوقت ، تركز الاهتمام على بعض الأرصاد المهمة ، أو على الأرصاد التي قد تؤمنها تقنيات جديدة . ومن اختفاء أو احتجاب المصدر الإشعاعي الكهربائي لما يسمى بالكرباب (Crabe) ، استمدّد حدّ أعلى منخفض إلى أقصى حد - واحد من أصل عشرة آلاف من أصل واحد على عشرة مليارات من فضائنا - من كثافة الفضاء القمري (1956) . ومن القياسات الاستقطابية (بولاريمترية) والراديو مترية لمختلف أطوال الموجات (وخاصة المستيمترية والدسيتمترية ابتداء من سنة 1959)، استمدت معلومات حول البنية الميكروسكوبية والماكروسكوبية [الكبرى] للسطح القمري . وتمت العودة إلى البحث عن لمعية التربة القمرية ، التي أثيرت سابقاً ، بنوع من الجدلية . وأخيراً ، حدث حادث استثنائي ، فقد بين رصدٌ مطيافي قام به ن . آ . كوزيرف ، لمعية غاز كربوني منبعث بشكل نفثة سريّة عند مستوى قمة مركزية في الدائرة المسماة دائرة الفونس في 3 تشرين الثاني سنة 1958 : انه البرهان الأول الاكيد الحاصل فيما يتعلق بظاهرة ذات تطور سريع فوق القمر .

في هذا الوقت ، تحققت التوقعات : في سنة 1959 ، وفي الثاني من كانون الثاني ، قارب الصاروخ لونيك Lunik I القمر وأصبح أول قمر اصطناعي في النظام الشمسي ، بعد أن نقل قياسات الشعاعية بخلال كل مساره ، وحقلًا مغناطيسياً على محاذاة القمر ؛ وفي الثالث عشر من شهر أيلول ، لاس الصاروخ لونيك II - القمر ، وفي الرابع من تشرين الأول أطلق لونيك الثالث الذي التقط صوراً لوجه القمر غير المرئي من الأرض ، ونقلها بعد عدة أيام إلى الأرض . ولم تكن هذه الانجازات كلها إلا بدايات . فالتجارب المعلنة فيما خص الستين أو الثلاث سنوات اللاحقة ، إذا نجحت ، فإنها سوف تعرّف على الأقل بجوار نقاط الهبوط ، بتفصيل يبلغ ما نعرفه عن بعض المناطق التي لم تكتشف تماماً من الأرض . وعندها يمكن القول ان القمر لم يعد يدخل في عالم الفلكيين بل أصبح ضاحية من ضواحي الأرض .

VI - المطيافية أو السبكتروسكوبيا

إن اختراع التصوير الفوتوغرافي ، واستخدام المطاييف النجمية في أواخر القرن التاسع عشر قد أتاحا تحليل أطيايف النجوم والمجرات .

وبصورة موجزة يمكن القول انه بحوالي سنة 1900 ، أصبح من المعروف ان لغالبية النجوم أطيافاً متتالية تزرعها خطوط امتصاص وان هذه الأطيايف تشبه نوعاً ما طيف الشمس . وتحديد ماهية غالبية هذه الخطوط قام به علماء الفلك الذين يهتمون بالفيزياء الشمسية وقد بدأ نقل هذه

النتائج إلى علم المطيافية النجمية . وبدأ علماء الفلك بتصنيف الأطياف النجمية . وقد بدأ أيضاً قياس السرعات الاشعاعية النجمية ، واكتشاف الكواكب ذات الأطياف المزدوجة .

وأظهرت المجرات و الزرقاء عن خطوط انبثاقية ؛ فقد اصطدم الفلكيون باستحالة تحديد هوية الخطوط الشهيرة المسماة ونبوليوم ، وهذه المسألة ظلت تشغلهم طيلة عشرات السنين . ان أسس علم المطيافية النجمية كانت قد وضعت ولكن العمل بقي بدون اكمال . والنتائج الحاصلة منذ بداية هذا القرن كانت فحمة .

التصنيفات المطيافية - ومنذ الأرصاد الأولى التي قام بها سكشي Secchi (مجلد III) ، بدأ تصنيف الأطياف بالنسبة إلى العديد من النجوم . لقد لوحظ في بادئ الأمر ، انه إذا استثنينا بعض الحالات الخاصة ، فان مجمل الاطياف يمكن ان يصنف ضمن عدد صغير من الفئات . وحوالي سنة 1900 التقت التصنيفات المختلفة بصورة بطيئة . وتم الاتفاق على الاحتفاظ بالسلاسل الطيفية التي اقترحت سنة 1900 من قبل مس آ . ك . موري ومس آ . ج . كانون وذلك باعتماد الترميز الذي وضعت الأخيرة (راجع مجلد III) أي اللاتحة الشهيرة الطيفية من انماط هارفارد التالية :

S
O B A F G K M
R N

إن نجاح هذا التصنيف متأ من كونه منظماً وفقاً لدرجات الحرارة المتنازلة . وقد ظهر هذا الحدث منذ ذلك الحين وتوضح بفعل تنوع ألوان الكواكب الزرقاء في بداية اللاتحة ، والبيضاء بعدها ثم الحمراء في آخر اللاتحة . ولكن هذه العلاقة بين النمط الطيفي ودرجة حرارة الجو ، لم تثبت إلا بعد ذلك بعشرين سنة عندما قام الفيزيائي مغ ناد ساهما Megh Nad Saha فشرح الأطياف مطبقاً على الفضاءات النجمية قوانين التوازن الكيميائي ، بعد أن احتلت الذرات والالكترونات محل المركبات الكيميائية الكلاسيكية . ان المطياف ذا الشق هو آلة دقيقة ولكنها بطيئة . ومنذ بدايات علم المطيافية ثبت وجوب الحصول على آلة أخرى لا يمكن اجراء دراسة احصائية حول الاطياف النجمية . فكان ان وضع في الاستعمال الموسورات المهدافية في أواخر القرن الماضي ، الامر الذي فتح هذا الحقل من البحوث . ان هذه الادوات المكونة من مؤشر ذي زاوية صفرى مركز مهداف فوتوغرافي ، تتيح الحصول على أطياف من العديد من النجوم التي يمكن تصنيفها على هذا الشكل . ان بعض الاعداد تدل على أهمية هذا العمل المنجز . ان كتلوع هارفارد ، الذي نُشر على شرف الفيزيائي هنري دراير والذي وزع ابتداءً من سنة 1918 ، احتوى مع ملحقاته ، على 172150 طيفاً⁽¹⁾ . ويمكن تقدير عدد الأطياف المصنفة اليوم بأكثر من 700 000 .

(1) ان كتلوع هنري دراير بالذات قد ظهر ضمن 9 مجلدات بين سنة 1918 وسنة 1924 . وقد تضمن 243000 طيفاً تعود إلى 225300 نجمة . ثم ظهرت 6 مجلدات ملحقات باسم هنري دراير ، ونشرت بين 1925 و 1936 ، وأعطت أطياف 46850 نجماً .

وقد أتاحت الدراسات الاحصائية العديدة توضيح توزيع النجوم وفقاً لانماط طيفية . وعلى هذا لوحظ إن النجوم O,B هي نادرة جداً وهي عملياً متجمعة قرب درب التبانة ، في حين ان نجوم نهاية السلسلة هي الأكثر شيوعاً وهي واقعة قرب القطب .

الخط البياني الذي وضعه هرتز سبرونغ - راسل - في حين كرس بعض الرصاد أنفسهم من أجل تصنيفات الأطياف ذات التشتت البسيط ، قام آخرون بدراسة الأطياف الأكثر تشتتاً وحققوا اكتشافات جديدة .

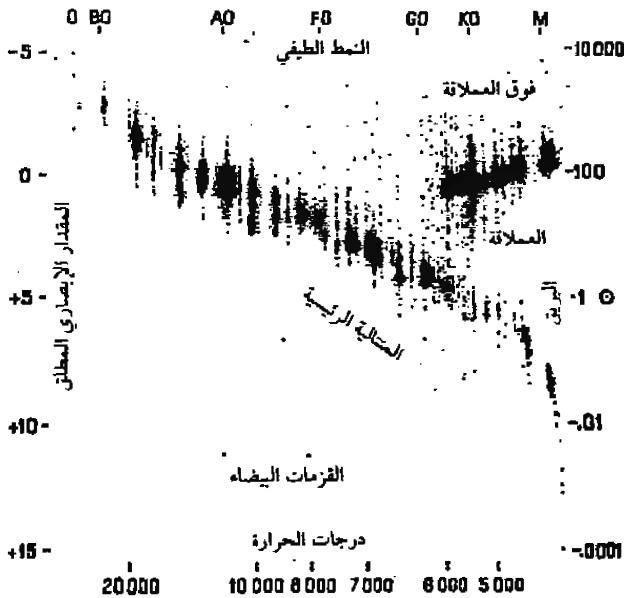
في سنة 1914 بين و . س . أدامس وآ . كوهلشور وجود فروقات طيفية محسوسة بين النجوم ذات الحركات الذاتية الكبرى والصغرى . وبالنسبة إلى النجوم من النمط الأول ، كان الطيف أقل كثافة في البنفسجي . وبالمقابل ظهرت بعض الخطوط ، وخاصة خطوط الهيدروجين وبعض الخطوط المعدنية ، قوية في أطياف النجوم من النمط الثاني . وظهر في الحال ان الفرق يُفسر ، لا بقيمة الحركة الذاتية ، بل بكون النجوم ذات الحركة الكبرى الذاتية هي قريبة من الشمس في حين ان نجوم الطبقة الثانية هي بعيدة عن الشمس بوجه عام . وإذا كانت هذه النجوم الأخيرة تبدولنا ذات بريق ظاهري واحد ، فذلك لأنها في الواقع أكثر بريقاً داخلياً من النجوم ذات الحركات الذاتية الكبرى . وبالتالي ، ظهر ان النجوم البراقة هي بذات الوقت أكثر ضخامة ، مما يبرر تسميتها « بالعملاقة » التي أطلقت عليها من قبل هرتز سبرونغ . أما الكواكب الأخرى أو « الأقزام » ونجوم السلسلة الرئيسية ، فهي فعلاً ذات حجم أصغر بكثير . ان العلاقة بين البريق الداخلي في النجوم ، ونسبة زخم بعض الخطوط المختارة بدقة بدت واضحة ، الأمر الذي مكن أدامس Adams سنة 1916 من استخدامها من أجل تحديد البريق الذاتي في النجوم ، ثم من أجل تحديد المسافة بين الكواكب وذلك بمقارنة البريق الذاتي بالبريق الظاهر . وهذه الطريقة التي عرفت بطريقة « المقارنات المطيافية » مكنت من تحديد مسافة الكواكب البعيدة بعدة آلاف من البارسيكات (Parsecs ، في حين ان الطرق المثلثية أو التريغونومترية لا تتيح الوصول إلا إلى 200 بارسيكس . وقد برزت هذه الطريقة وفسرت بفضل نظرية ساها . وهذه النظرية تبين انه اذا كانت درجة حرارة الفضاء هي العنصر الحاسم في الطيفية ، فان الضغط في الفضاء ليس عديم الأثر على زخم الخطوط . ولكن هذا العنصر الأخير أقوى بآلاف المرات في النجوم الأقزام ، منه بالنسبة إلى النجوم العملاقة .

الواقع إنه إلى سنة 1905 و1907 ، يعود اكتشاف - من قبل الفلكي الدانماركي اجنار هرتز سبرونغ Hertzsprung ، في الطبقتين K,M - نمطين من النجوم ذات بريق مختلف تماماً بحيث سماها بالعملاقة وبالقزمة ، دون أن يلتفت إلى فرضية ما حول أحجامها المختلفة .

ومر هذا الاكتشاف غير الملحوظ في بادئ الأمر ، ثم ثبت سنة 1913 من قبل الفلكي الأميركي هـ . ن . راسل Russel الذي خطرت له فكرة وضع خط بياني صنف فرقه على علة ثبات من النجوم ، واضحاً في الاحداثي الأفقي النمط الطيفي وفي الاحداثي العمودي الضخامة المطلقة أي البريق الذاتي .

ولاحظ أن غالبية النجوم تقع بشكل محسوس فوق خط معترض (diagonale) يبين وجود علاقة محددة ، بالنسبة إليها ، بين الضخامتين المصنفتين : النمط الطيفي والبريق المطلق .

وتقع الشمس أيضاً فوق هذا المعترض . وبالمقابل تقع نجوم عديدة من الأنماط الطيفية الأخيرة فوق خط أفقي بشكل محسوس ، يعادل الضخامة المطلقة صفر . وهذه النجوم الأخيرة هي النجوم العملاقة ؛ أما النجوم الواقعة على المعترض فهي النجوم القزمة من السلسلة الرئيسية . وبدا دياغرام (هرتز سبرونغ - راسل) وكأنه أحد المكتسبات الكبرى في الفيزياء النجمية في هذا القرن . ان دياغرام ه - ر قد استكمل بفضل اكتشاف نمطين جديدين من الكواكب .



صورة 30 - دياغرام هرتزسبرونغ - راسل : إن موقع كل نجمة محدّد في الاحداثي الأفقي بدرجة حرارته السطحية (التي تتوافق مع لونه المسيطر) كما تتحدد فوق الاحداثي العمودي بريقها (ويتخذ بريق الشمس كوحدة) أما النجوم الصفراء والمستقرة فتشكل المتتالية الرئيسية (عن سترويف Struve) .

في سنة 1914 أشار أدامس إلى ان مرافق سيربوس يجب أن يكون نجماً أبيض حاراً جداً وليس أحمر ، وبارداً كما يدل عليه بريقه . وقد تأكد هذا الأمر بصورة نهائية بفضل نفس الفلكي ، وبواسطة أطراف تم الحصول عليها عن طريق تلسكوب جبل ولسن الكبير . ونحن نعرف الآن عدة مئات من النجوم من هذا النمط . وربما كانت نجوماً شائعة جداً في الكون . ان مادتها ثقيلة للغاية ، وهي نوع من تراكم النوى بدون فراغات فيما بينها ، وهي أثقل من المادة العادية بمئة ألف مرة . وتفسر النظريات الحديثة هذه « المادة المتقهرة » (بوز Bose وانشتين Einstein) . وتقع

هذه النجوم في الزاوية السفلى اليسرى من الدياگرام ، ويُظن الآن وجودُ متتالية كاملة موازية للمتتالية الرئيسية . ثم ان الدياگرام قد استكمل أيضاً من أعلى بعدد ما من العلاقات الكبرى ، من كل الانماط الطيفية ، ما يقارب من الف مرة أكثر لمعاناً من العلاقات البعيدة . واقتضت تحسينات أخرى تفصيلية انشاء صف « للأقزام الصغرى » وللعلاقات الصغرى ، كما خففت من البساطة الأساسية في دياگرام هـ- ر .

تطور النجوم - منذ 1920 تحقق هـ . شاپلي Shapley من ان نجوم الكتل الدوائرية globulaires لم تكن كواكب عادية . فالكواكب الأكثر بريقاً هي نجوم حمراء ، ولكن ظهر ان الأمر لا يتعلق بالعلاقة أو بالعلاقة العليا العادية لأنها لا تتنظم في مكانها المعتاد داخل دياگرام هـ- ر .

وقد ثبت هذا بوضوح أكبر سنة 1952 ، عندما استطاع آرپ Arp ، ويوم Baum وسانداج Sandage أن يرسموا ، بفضل القياسات الفوتومترية الدقيقة جداً ، دياگرامات هـ- ر المتعلقة بالكتل الدوائرية ، ولاحظوا انها ليس بينها الا تماثل ضعيف جداً مع الدياگرام الكلاسيكي المعتاد .

وبقي المعترض la diagonale ثابتاً ، ولكن القسم الأسفل بقي صعب التحديد ، بسبب البريق الضعيف جداً في هذه النجوم ، في حين ان القسم الأعلى غير موجود . وبالمقابل ، انضم فرعان في الزاوية العليا اليمنى ، وتطابقا هنا مع نجوم شاپلي الحمراء . ان القسم الأعلى متصل ، وقرب هذه الثغرة تقع النجوم (R. R Lyrae) ر . ر . ليراي .

من نافل القول ان هذا الاكتشاف قد حفز إلى أقصى درجة العلماء الفيزيائيين النجوميين . في سنة 1944 ، فر و . بآد هذا الحدث مفترضاً وجود نمطين من النجوم : « نجوم الجمهور I » التي تقع على الدياگرام هـ- ر الكلاسيكي ، و « نجوم الجمهور II » التي تكون دياگرام الكتل الدوائرية . وفتح نقاش مفيد للغاية ، في عدة مجلات ، وأدى في النهاية إلى نظرية دقيقة جداً حول تطور النجوم : ان الفرق الرئيسي بين الجمهورين هو العمر . فالجمهور I هو الأصغر عمراً ، والجمهور II هو الأكبر عمراً . وأناحت نظريات طورها ، بشكل خاص م . شوارتز شيلد في الولايات المتحدة وف . هويل Hoyle في بريطانيا ، تبين كيفية تباعد النجوم الزرقاء والشابة وبسرعة انشاء تقدمها في السن ، عن المتتالية أو السلسلة الرئيسية لكي تستقر فوق فرع العلاقات الحمراء ، الواقعة فوق دياگرام الكتل ، والنجوم الأقل ضخامة ، في القسم الأسفل من الفرع تتطور بسرعة أقل بكثير . وهكذا نصل إلى تفسير الانتقال من دياگرام إلى آخر ، ويمكن تعيين تاريخ الكتل من خلال موقع النجوم في الدياگرام هـ- ر . ان الاقدم هي (M67) التي يبلغ عمرها عدة مليارات من السنين .

إن هذه النظرية ، وهي في أوج بنائها ، ما تزال تحتاج إلى الكثير من الشرح ، ولكن نجاحاتها تلبو محسوسة . ومن المحتمل انها تمكن من فهم تكثف الكواكب انطلاقاً من المادة الموجودة بين الكواكب (كواكب ت . توري T. Taury) وربما تسمح أيضاً بتفسير التفكك النهائي

الذي يصيب النجوم فتحول إلى « قزما بيضاء » .

« خطوط النيليوم » *nébulium* - ان الفحص البصري بواسطة المطياف قد أتاح اكتشاف بعض خطوط البث الكثيفة التي لا يمكن الحصول على معادل لها في المختبر . سنة 1864 ، اكتشف و . هروغينز Huggins الخطين الأكثر قوة في المجرات الواقعة ضمن الاخضر ، ذات أطوال الموجة البالغة 4969 و 5007 Å . ان هذا الاكتشاف أتبع سنة 1868 باكتشاف خط أصفر مجهول المنشأ ، في طيف الشمس ، ثم ، في سنة 1869 ، بالخط الاخضر (5003 Å) من الناج الشمسي . ولما كان من غير المستطاع عزوها إلى عناصر معروفة ، فقد اخترع النيليوم والهليوم والكورونيوم . وفي سنة 1895 استطاع و . رامسي أن يبين أن الهليوم موجود في الفضاء الأرضي ، وابتداء من سنة 1905 ، أمكن استخراج هذا الغاز من مصدر طبيعي .

وحفز هذا الاكتشاف الفلكيين والفيزيائيين في بحثهم حول العنصرين الآخرين .

لتفحص ماذا يحدث بالنسبة إلى النيليوم . فقد أُنحِت قياسات أجريت لتحديد أطوال الموجة بدقة بالغة . وقد ثبت ان الخطين يجب أن ينشقا عن نفس الذرة . ودلت قياسات عرض الخطوط (ش . فابري Fabry وهـ . بويسون Buisson) ان الذرة يجب أن تكون خفيفة ، وقد قدما ان وزنها الذري هو 3 ، مما يجعله بين الهيدروجين والهليوم . ولكن تمة الاحداث دلت على عدم وجود أي مكان شاغر في هذا الموضع من تصنيف مندليف وبقيت المسألة معلقة . زيادة على ذلك أشار راسل سنة 1919 إلى أن المرسل يجب أن يكون ذرة خفيفة توضع في ظروف غير قابلة للتحقيق في المختبر ، في فراغ متناهِ ، حتى ليستحيل الحصول عليه في حيز مغلق .

إن هذه المسألة لم تجد حلاً لها إلا ضمن نشرة اذاعها سنة 1928 ج . س . بوين Bowen . استند في باديء الأمر على أعماله المطيافية الخاصة وكذلك على أعمال كروز Croze وميهول Mihul (1927) وآ . فولر Fowler ، فبين ان أفكار راسل كانت صحيحة وان الخط يأتي من التنقل بين حالات متنوعة في ذرة الاوكسجين المؤينة مرتين O^{++} . ولم يكن الأمر يتعلق بتنقلات مسموح بها عادة ، بل بعبور من حالة « فوق الاستقرار » (*metastable*) في الذرة O^{++} إلى حالة أخرى عادية . إن هذه الحالات فوق الاستقرار ، لم تفقد نشاطها الا بصورة بطيئة عن طريق بث عشوائي لخطوط ممنوعة . في المختبر ، تخرب صدمات ذرة ضد ذرة أخرى ، أو ضد جوانب الوعاء ، حالة فوق الاستقرار قبل البث العفوي : واذن فليس بالإمكان ملاحظة الخطوط فيها . ولكن الرصد في فوق البنفسجي البعيد ، وبعض الحسابات النظرية أتاحت استباق طاقة هذه الحالات فوق الاستقرار . وهذا ما قام به بوين ، وأعلن في عمل شهير ليس فقط عن التعريف على خطين من خطوط النيليوم التي عزاها إلى الاوكسجين المزدوج التأين (O^{++}) ، بل أعلن أيضاً عن تعرفه على العديد من الخطوط الأخرى ، ومن بينها الخطوط الواقعة عند 6548 و 6584 انغستروم التي استطاع عزوها إلى (N^+) ، كما عزى خطوط 3727-3729 إلى الاوكسجين المؤن (O^+) . وحل بشكل كامل المسألة ؛ وأتاح له مقال نشر سنة 1935 تفسير الزخومات غير العادية المتجلية في بعض الخطوط .

ان الموت الذي أصاب النيليوم تلاه بعد حوالي خمس عشرة سنة (1942) موت الكورونيوم

الذي حدد ب . ادلين خطوطه مع الخطوط المحظورة للذرات المعدنية الشديدة التأين (Fe XIII, Fe XIV, Ni XIII ، الخ) .

وبينت هذه الدراسات عن تنسيق قوي في الكون . ولم يعثر على أي عنصر جديد ، انما تمكن الإشارة فقط إلى بعض الفيوصلات غير الطبيعية من ذلك مثلاً غمارة التربة النادرة أو فيض التكنسيوم في بعض الكواكب الخاصة . ان النسبة بين النظيرين $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ تبدو مختلفة جداً بالنسبة إلى بعض الكواكب المتفحمة وهذا الأمر يبدو ذا علاقة مع التفاعلات النووية في هذه الكواكب . وهكذا تبقى المطيافية اليوم أداة نافعة وضرورية لعلم الفلك . الواقع ان كل الفيزياء النجمية الحديثة قد انبثقت عن المطيافية .

VII - القياس التصويري أو الفوتومتري

والقياس التلوييني أو الكولوريمتري

1 - القياس التصويري النجمي

إن القياس التصويري الفلكي مهمته الأساسية قياس البريق النجمي أو الاضاءة التي تحدثها النجوم فوق صفحة عامودية بالنسبة إلى الأشعة . وهنا يكمن معطى أساسي بالنسبة إلى علم الفلك النجمي وبالنسبة إلى فيزياء النجوم . من البريق النجمي نستمد الزخم الضوئي للكواكب القريبة ذات المسافة المعروفة تماماً . وبالعكس نستخرج من البريق بعد الكواكب البعيدة (بعد الاخذ في الاعتبار ، عند اللزوم الامتصاص الذي يحدث في الفضاء) ، عندما يمكن تقدير الزخم ، بصورة تقريبية ، بفضل دراسة الخطوط الطيفية . ومن أجل هذه التطبيقات التي تحتل أسباباً أخرى من اللايقين ، يكفي على العموم قياس البريق النجمي بمعدل عشرة بالمئة تقريباً ، ولكن الدقة الأكبر الممكنة يبحث عنها في دراسة بعض النجوم المتغيرة مثل القياسات التلويينية التي تتناول على الأقل منطقتين طيفيتين .

يقدر البريق النجمي E وفقاً للمسلم اللوغاريتمي ذي المقادير m المحدد وفقاً لقانون وضعه پوغسون Pogson : $m = -2,5 \log E + k$ حيث تكون k ثابتة تحدد قيمتها بصورة كيفية وذلك باسناد ضخامة محددة لنجمة تتخذ كميّار . وفي النظام الابصاري المعتمد في هارفارد مثلاً فإن النجمة λ أورسي مينوريس Ursae Minoris المجاورة للقطب الشمالي السماوي أعطيت الضخامة 6,55 + . وهذا الاختيار ، كما العامل 2,5 - في معادلة پوغسون ، أتاح الحصول على مقادير تختلف قليلاً « عن المقادير » التي اعطاها الفلكيون الاقدمون إلى النجوم البراقة قبل أي قياس تصويري .

الطرق الرئويّة - في مطلع القرن العشرين كانت القياسات تعتمد الرؤية بشكل حصري ، ونتم عن طريق مقارنة دقيقة ، فعندما كان يراد دراسة نجم متغير ، كانت تجري مقارنتها بنجمة ذات بريق ثابت مرئية بذات الوقت في حقل الآلة الراصدة . ولكن من أجل وضع كتلوع بمقادير النور التي تشتمل على نجوم بعيدة عن بعضها البعض في كرة السماء ، كان من الواجب مقارنة كل واحدة منها بنجمة واحدة تتخذ مرجعاً ، أو تقارن بنجمة اصطناعية .

ان المقياس التصويري ذا الصورة المزدوجة الذي صممه بيكينرغ Pickering (1879) يلائم تماماً المقارنة بين نجمتين متجاورتين . وهو يحتوي قبل السطح البؤري في الشبيجة ، على موشور مزدوج التصوير يعطي عن كل نجمة صورتين ذاتي اضاءة متعادلة ، مستطبتين وفقاً لزاوية قائمة . وتقرب الصورة العادية لنجمة ما إلى جانب الصورة غير العادية للنجمة الأخرى ، ثم نقارن بين برريقيهما بواسطة نيكول nicol موضوع وراء المعيان oculaire . ومن اجل وضع الكتلوغ ، صمم بيكرنغ ، وفقاً لذات المبدأ ، جهازاً أكثر تعقيداً (المقياس الصوري الهاجري) وبواسطته تقارن تباعاً كل النجوم عندما تمر في خط الهاجرة بنجمة واحدة مجاورة للقطب . ولما كانت المسافات السمتية مختلفة ، فان الارصاد يجب أن تكون مصححة بعناية ، بمقدار الامتصاص الفضائي .

ان الكتلوغ الاكبر التصويري القياسي (القياس التصويري المعدل ، في هارفارد ، وملحقه ، 1908) يحتوي على أكثر من 46 ألف نجمة ، وقد وضع انطلافاً من أرصاد أجريت في هارفارد ، وبالنسبة إلى نصف الكرة الجنوبي أجريت في اريكيا Aréquipa (راجع مجلد III) . وقبل ذلك بستين كان مولر Muller وكمپف Kempf قد انهيا كتلوغ بوتسدام Potsdamer (Durchmusterung) المتعلق بالنجوم في نصف الكرة الشمالي الأكثر برقاً من المقدار 7,5 . واستخدم المؤلفان الفوتومتر أو المقياس التصويري الكلاسيكي الذي وضعه زولنر Zollner سنة 1861 حيث قورنت كل نجمة بنجمة اصطناعية واحدة ، جرى تعديل برقيها بواسطة مكثفات . وكانت دقة هذه الكتلوغات ضعيفة : فالي جانب الأخطاء المنهجية التي تتجاوز عشر المقدار ، والتي تتعلق بالبريق ويلون النجوم ، تضاف اخطاء عارضة من نفس المقدار . ان دقة العشر ، لا تتحقق فعلاً ، أما الفروقات التي تزيد 50% فليست نادرة . وقد حسنت الدقة بعد ذلك بفضل معرفة أكثر دقة للصعوبات التي تعترض القياس التصويري للمصادر النقطية التي تشاهد عبر الفضاء .

ان غالبية الاجهزة المستعملة فيما بعد لا تختلف عن الاجهزة السابقة الا ببعض التحسينات التقنية . ففي المقياس التصويري العيني المسمى عين الهر ، الذي وضعه دانجون سنة 1926 ، والذي يمثل نمطاً جديداً ، يقلص بريق النجمة الاكثر لمعاناً بواسطة دياغرام مربع ذي مساحة متغيرة . ان هذا المقياس التصويري يتلاءم مع نفس التطبيقات المتلائمة مع مقياس بيكرنغ ويتيح فضلاً عن ذلك مقارنة نجوم ذات بريق مختلف جداً .

وبقيت تصحيحات الامتصاص الفضائي بدون عناية كافية لمدة طويلة . فالمسافة السمتية للنجوم ولمكان الرصد كانت تتغير تبعاً لطول الموجة ، ودلّ الامتصاص على تغيرات مهمة بين ليلة وأخرى وأحياناً بين ساعة أخرى . وفي اغلب الاحيان كان يكتفى بتقدير هذا الامتصاص بواسطة جداول امتصاص وسطي تنظم مرة واحدة مثل جدول مولر في بوتسدام ، وهذا التصحيح القاسي جديداً هو المسؤول عن الانحرافات والاختلافات الكبرى في الكتالوجات . والوسيلة الوحيدة الصحيحة فعلاً ، إنما المتعبة جداً ، تقوم على دراسة تغيرات الامتصاص في كل ليلة تبعاً للمسافة السمتية ، ووفقاً للطريقة التي وضعها بوغر Bouguer عندما اخترع الفوتومتريا في القرن الثامن عشر .

أما أسباب الخطأ الأخرى فهي فيزيولوجية . فتأثير لون النجوم يتبع عن ظاهرة بوركني Purkyne ؛ ويستبعد هذا الخطأ عملياً عندما تلغى ، بواسطة مصفاة بترتقالية اللون ، أطوال الموجة التي تقل عن $0,454 \mu$. وبالتالي ونتيجة التفاوت المحلي في حساسية الشبكية فإن نتيجة مقارنة نقطتين مضيتين ، مقارنة قياسية ، تتعلق أيضاً بموقعهما المتبادل . وهذه الظاهرة المتغيرة من راصد إلى آخر ، والتي اكتشفها ميراسكي Cerasky سنة 1890 تؤدي إلى أخطاء منهجية تعادل عشر إلى عشرين من أصل المقدار . وقد أمكن التخلص منها بقلب موقع النقطتين في وسط كل سلسلة من النقاط المحددة .

إن المقارنة الفوتومترية [قياس الضوء] بين الصور النقطية هي عملية قليلة الدقة . وأفضل القياسات التي أجراها دانجون بواسطة مقياس الضوء (فوتومتر) بيكرنغ Pickering ، وبواسطة المقياس ذي عين الهر ، تمثل بالنسبة إلى رصد مشهود (Pointé) ، الانحراف الرباعي الوسط $\pm 0,097$ من المقدار ، أي (9%) (محسوبة انطلاقاً من ألف رصد مشهود لنفس النجم) . صحيح - والانحرافات Écarts موزعة وفقاً لقانون غوس Gauss - أنه بالإمكان تحسين الدقة في النتائج بأخذ المعدل الوسط لعدد كبير من الأرصاد المشهودة .

إن العين تتعرف بدقة أكبر على المساواة بين شاطئين ضوئيين متجاورين من نفس اللون . فكان من المفيد إذن تطبيق تقنية أكيدة في المختبر ، على دراسة النجوم البراقية .

في بعض الفوتومترات ذات الصور الخارجة عن البؤرة ، يتم التصويب بواسطة المعين oculaire على قطع في الضمة النجومية بعيدة عن بؤرة الشبكية . والأفضل - كما في الفوتومتر الشامل العاري من الشاشة الباثية الذي وضعه فابري ويوسون (1920) - تطبيق طريقة الشطوط الحدقية . إن العين ، إذا وضعت عند محراق الشبكية ، وتلفت في حداثتها ، صورة نجم ، فإنها ترى الشبكية مضادة بشكل متناسق . نضع في مواجهة الشبكية شاطئاً مقارنة قابلاً للتضييق : أما سطحاً عاكساً الضمة المتأنيبة من مصدر شبه نقطي ، أو سطحاً باثاً متنسق الاضاءة . إن دقة « الأرصاد المشهودة » Pointés ، القليلة التأثير بالاضطراب الفضائي ، لا تتضاءل إلا ببطء مع اضاءة الشواطىء . إن توزيع 555 رصداً مشهوداً لنفس الكوكب حاصلاً بواسطة فوتومتر ج . دوفي J. Dufay (1930) باللون الأخضر ، قد أعطى الانحراف الرباعي الوسط ($\pm 0,027$) من المقدار (2,5%) . وتؤدي ستة إلى عشرة أرصاد مشهودة ، بالتالي ، إلى نفس الدقة التي تؤمنها مئة من المقارنات للصور النقطية .

الطرق الفوتوغرافية - إن الفوتومترية النجومية التصويرية ، التي تطورت بسرعة بين 1900 و 1912 ، تقدم من المكاسب - فيما تقدم - إمكانية دراسة نجوم أضعف ، كما تمكن في الغالب ، وعلى نفس اللوحة « كليشه » تحديد مقادير عدد كبير من النجوم . وقد استعملت - وما تزال تستعمل - صفائح تسمى « عادية » ، تشمل حساسيتها فوق البنفسجي حتى الأزرق - الأخضر . إن القياسات الفوتوغرافية تتناول إذن أطوال موجة أقصر من القياسات الرؤيوية ، حتى إن فارق الضخامة بين كوكبين مختلفي الألوان ليس واحداً بالنسبة إلى الصفيحة وبالنسبة إلى العين . إن

« صفر » السلم الفوتوغرافي قد حدد بواسطة قاعدة بيكرينغ : فالنجوم البيضاء من النمط الطيفي (A0) ذات الحجم الواقع بين 5.5 و 6.5 ، يجب أن يكون لها ، وسطياً ، نفس الضخامة الفوتوغرافية والرؤية .

ويتضمن القياس الفوتومتري الفوتوغرافي (الضوئي التصويري) عادة عمليتين متميزتين : قياس عدم شفافية المناطق المتأثرة من الصفيحة ، وبناء منحني التسويد الذي يربط بين الكثافات (عدم الشفافية) وبين الاضاءات . ولكن من المستحيل اجراء قياسات كثافة داخل البقع الصغيرة جداً التي تعطيها النجوم فوق الصفيحة عند بؤرة منظار أو تلسكوب . وفي أغلب الاحيان امكن تفادي الصعوبة بيسط الصور النجمية بشكل مصطنع .

منذ 1900 استعمل ك . شوارز شيلد هيكلاً ، يطبع فوق الصفيحة ، أثناء الاستراحة ، سلسلة من التقلات الصغيرة بحيث يكون لكل نجمة شاطئ مربع موحد نوعاً ما ، وقد استعمل هذا الهيكل لصنع الكاتالوغ المتعلق بالنجوم الواقعة بين المليون صفر و +20^o (غوتنجر اكينومتريا 1910-1912) .

وانه من الايسر بكثير ، وضع الصفيحة أمام أو وراء السطح البؤري بقليل ، بحيث تعطي كل الكواكب بقعاً دائرية من نفس القطر ، انما بكثافات (غلة شفافية) مختلفة . وبواسطة هذا الاسلوب ، المستخدم في أغلب الاحيان ، حصل پاركهurst على دقة من عيار بعض الأجزاء من فئة من « الضخامة » (magnitude) (Yerkes Actinometry, 1912) ، في دراسة 660 نجمة واقعة بين القطب الشمالي والميل +73° . ولكن الكثير من الشبهات تعطي شواطئ (جوانب) هامشية البؤرة غير صالحة للاستعمال نتيجة انعدام الوحدة بينها . ان صورة شبيهة كاسرة للوضوء ، حاصلة بفضل شبيهة ذات بؤرة قصيرة ، هي دائماً منورة بشكل موحد (ش . فابري ، 1910) . ان هذه الطريقة ، طريقة الدائرة العينية ، وقد طبقت مؤخراً في رصد المتغيرات ، قد أدت إلى دقة من عيار $0.02 \pm$ « ضخامة » .

ولما كان نشر الصور النجمية يزيد كثيراً من مدة أخذها ، كان يتعين اجراء القياسات بالنسبة إلى النجوم الضعيفة على الصور البؤرية . وفي وضع الأخذ الثابت ، يتزايد قطر الصور مع تزايد بريق النجوم (وبذات الوقت تزداد الكثافة المتوسطة) (بوند ، 1858) . واذا كانت ضخامات بعض نجوم الحقل معروفة ، بصورة مسبقة ، فبالامكان رسم منحني استقطابي يربط الضخامات بالاقطار ، ولكن الدقة هنا تكون ضعيفة ، لأن القطر لا يزداد الا ببطء تبعاً للبريق . وأدت طريقة دي شيلت de Schilt (1924) إلى انجاز مهم جداً . على الصفيحة ، كليلشه ، نثار دائرة ، يقارب قطرها قطر أكبر الصور النجمية ثم يقاس - بواسطة مزدوج خرازي كهربائي ، أو بواسطة خلية تصوير كهربائي - الدفق المنقول عبر الدائرة المنورة . ومن الافضل أيضاً ، كما يجري اليوم ، اسقاط صورة دياغرام قرزحية (Iris) على الصفيحة ، ثم نغير فتحة القرزحية ، من أجل رد الدفق المنقول ، في كل مرة ، إلى نفس القيمة . وهكذا قد تصل الدقة إلى 3% وتبقى مقبولة بخلاف مرحلة بين الضخامات الواسعة .

وعندما يجري العمل فوق شواطئ موسعة ، فإن التعبير الفوتومتري قد يجري اما على الكواكب ، أو في المختبر حيث تتاح أساليب تقليدية متنوعة . ويكفي التأكد من أن منحنى طاقة المنبع الإضافي يختلف قليلاً عن مصدر النجوم . ولكن التعبير يجب دائماً أن يتحقق على النجوم عندما تتناول القياسات الصور البؤرية . وفوق حقل نجمي غني نوعاً ما تكفي وقتان - احدهما بدون تخفيض ، والاخرى بتخفيض الاضاءة بنسبة معينة - لرسم منحنى السواد وفقاً لعدد كبير من النقاط (شوارتزشيلد) . والتخفيض أو الاضعاف قد يحصل بواسطة منخل أو شبكة دقيقة ، أو أيضاً بواسطة مصفاة ماصة حيادية . ويوضع المصفاة أمام نصف الصفيحة بخلال الوقفة الاولى (التعريض) ، وأمام النصف الآخر بخلال الوقفة الثانية ، من الممكن ملاحظة التغير الممكن في الامتصاص الفضائي . ان الشبك الموضوع أمام الشبيحة ، العامل كشبكة تحريف أو كسريتيح أخيراً تحقيق التعبير في وقفة وحيدة ، يجعل القياسات تتناول بآني واحد الصور المركزية والصور الأولى المحروقة من هذا الجانب وذاك من هذه الصور الاخيرة (أ . هرتز سبرونغ 1922) .

إذا عرفت تماماً ضخامات نجوم حقل نجمي ، أمكن تعبير الكليشهات المأخوذة عن مناطق أخرى وذلك بتصوير الحقل المعياري على نفس الصفيحة ، وعند نفس المسافة السمتية . وقد بذلت جهود ضخمة من اجل تحديد ضخامات النجوم المجاورة للقطب الشمالي ، القابلة للرصد ضمن نصف كرتنا الشمالي ، في كل ساعة من ساعات الليل وفي كل فصل .

ان السلسلة القطبية الدولية تحتوي على 96 نجماً ذات ضخامات فوتوغرافية تتراوح بين 2.5 و 20.1 مع لائحة اضافية بـ 56 نجمة أخرى . وهناك سلاسل أخرى مرتبطة بالاولى في مناطق متنوعة (مناطق مقياسية معتمدة في جامعة هارفارد) وفي بعض الكتل المجرية (الشريبات ، الهرايسيب Parasepe) يمكن ان تستخدم كمعايير ثانوية .

الطرق التصويرية الكهربائية - وبحسب التبع الملح للتقدم الحاصل في صنع الخلايا Cellules ، قلب التصوير الكهربائي في أقل من قرن من الزمن الفوتومتريا النجومية . والتطبيق الأول يعود إلى سنة 1910 . وبواسطة خلية (أو فيلم) تصويرية موصلة من السيليونيوم ، رسم ج . ستينس Stebbins ، بدقة مذهلة منحنى ضوء نجمة ذات كسوف الغول Algol . ووضع لأول مرة موضع التأكيد الحد الأدنى الثانوي الذي كان وجوده متوقفاً والذي كان عمقه أقل من عشر الضخامة . ولأول مرة بلغت الدقة واحداً على مئة من الضخامة ، وهو أمر لم يحققه أية طريقة أخرى . ان خلايا السيليونيوم التي تصاب « بأثر تعب » مزعج للغاية ، قد استبدلت بخلايا تصويرية ارشالية من البوتاسيوم المهدر (من هيدرور) حساسيتها قصوى في الأزرق ، أو بخلايا من الروبيديوم أو من الصوديوم .

واستعملت في أغلب الاحيان خلايا غازية ، أكثر حساسية من الخلايا الفراغية ، ولكنها مشوبة بعيب انها لا تعطي تياراً يتناسب بدقة مع الدفع الذي يأتيها . ورغم هذا فان زخم التيار التصويري الكهربائي كان حتى ذلك الحين ضعيفاً جداً يستعصي على القياس المباشر بواسطة غالغانومتر ، وكان من الضروري استخدام مقياس كهربائي ذي طاقة قليلة .

ومن سنة 1918 إلى 1932 جرى بشكل خاص تمسك دقيق بدراسة المتغيرات البراقة من النجوم ، لأن النجوم الضعيفة كانت حتى ذلك الحين مستعصية على القياس (ستينس ، غوثنيك) . ثم ظهرت اللمبات القياسية الكهربائية (الكترومتر) ذات المقاومة الداخلية العالية جداً . فأناحت افادة الفوتومتريا النجومية من تقنيات التضخيم بواسطة التيار المستمر (ويتفورد ، 1932) . وبعد ذلك بقليل حقق ج . س . هال في سنة 1934 القياسات الأولى النجومية بقرب تحت الاحمر ، بواسطة خلية من الكايزيوم المؤكسد على الفضة ، المبردة بواسطة الثلج الكربوني وذلك من أجل تقليل البث الحراري الايوني من الكايزيوم .

إن استعمال المضخم ذي المقاومة ذات الشحنة العالية يعمل للأسف على تضخيم أكثر للتموجات التي تشكل ضجيج العمق أكثر مما يفعل التيار التصويري الكهربائي بالذات . ان المكثرات التصويرية التي شاع استعمالها بعد سنة 1945 ، هي أكثر فائدة بهذا الشأن . ويرتكز عملها على بث الكترونات ثانوية بفضل بعض المواد مثل الخلائط من النيوزيوم والفضة عندما تضرب بالكترونات ذات طاقة كافية . وإذا زدنا عدد الأهداف الباثية أو ما يسمى « دينود » فإننا نضرب ، عند كل دينود نلتقيه ، عدد الالكترونات ، بعدد يتراوح بين 2 و 5 . من ذلك انه ، في المضاعفات التصويرية التي وضعها لاليمانند Lallemand ذات 19 إلى 20 طبقة ، يكون زخم التيار الحاصل بما يعادل 10 أو 20 مليون مرة أعلى من زخم التيار التصويري الكهربائي في الاساس . ولكن هذا التضخيم الهائل لا يزيد ضجيج القاع بالنسبة إلى الإشارة .

بعد هذا استعملت في الفوتومتريا النجومية المضخمات التصويرية التي تسمح بقياس كل النجوم على الأقل المرئية من خلال معيار التلسكوب الذي يحملها ، أما الدقة فإنها في أغلب الاحيان غير محدودة الا بتغيرات شفافية الجو ، واضطرابها أو بفعل اضاءة السماء . ولما كان الجواب أنياً وفي الحال فان هذه المضخمات تستعمل أيضاً كمعدات للفوتونات أو لاحصاء النبضات الآتية بخلال مدة معينة ، من أجل قياس التدفقات الأكثر ضعفاً .

وتستعمل اليرم بشكل خاص كاتودات من الكايزيوم والانييمون حساسة بالنسبة إلى فوق البنفسجي وإلى الاحمر كما تستعمل كاتودات من الكايزيوم من الفضة تبلغ حساسيتها القصوى حوالي 0.8μ وتمتد حتى 1.2μ . انما يجري العمل بوجه عام على شرائط طيفية ضيقة ، أما القياسات فإنها ترتبط بمقاييس اللون (كولوريمتريا) .

من 1.2 حتى 2.6μ يعتبر اللاقط الأكثر حساسية في الوقت الحاضر مكوناً من خلية تصويرية موصلة من سلفور الرصاص . ومقاومتها ضعيفة نسبياً وكذلك ضجيجها في العمق ، الأمر الذي أدى إلى اتباع تقنية تضخيمية مختلفة . ويضبط الضوء عند وتيرة تبلغ بضع مئات من الدورات في الثانية . والتيار الذي يمر بالخلية يرسل إلى مضخم ذي تيار تناوبي في شريط عَبار ضيق نوعاً ما ، ومنسق وفقاً لتواتر التضبط . ولكن في بؤرة تلسكوب ذي فتحة تبلغ 120 سنتيمتراً ، من الصعب حتى الآن بلوغ نجوم حمراء أضعف من الدرجة الثامنة من الضخامة .

2 - القياس التلويني أو الكولوريمتريا

إذا كان منحني الطاقة لنجمة ما يشبه منحني جسم أسود فيمكن تمييز هذا المنحني الأول بواسطة ثابتة معيارية واحدة هي درجة حرارة اللون . ويبحث في أغلب الأحيان في استبدال هذه الدرجة ، بشابطة معيارية أخرى أو « المعادل اللوني » الذي لا يقتضي تحديده قياسات طيفية تصويرية ، شاقة دائماً وغير قابلة للتحقيق بالنسبة إلى النجوم الضعيفة .

ان الشبكة المنخل الموضوعه أمام الشبكية تعطي ، فوق الصفيحة الموضوعه في البؤرة ، أطباقاً صغيرة محروفة فوقها يجري بسهولة قياس موقع أقصى السواد (هرتز سبرونغ) . وكغيره من المعادلات اللونية الأخرى يتعلق طول الموجة الفعلي هذا ، بآين واحد ، بدرجة حرارة لون النجم ، وبحساسية الصفيحة الطيفية ، ومنحني نقل الفضاء (ان موشوراً ذا زاوية صغيرة يقدم طيفاً مماثلاً مع خسارة في الضوء أقل) . ان الوسائل المركزة على التساوي البصري في لون نجمة ما ومصدر اصطناعي ، تستحق ان تذكر على سبيل التذكير ، وكذلك تذكر أيضاً الطريقة الاصلية التي وضعها تيكهوف Tikhov وتام Tamm سنة 1922 و 1923 والتي استفادت من الزيغان اللوني في الشبكية ، المقنعة في قسمها الاوسط من اجل تصوير شواطئ خارج بؤرية ذات مظهر مختلف بحسب لون النجوم . وفي بادئ الامر اتخذ كمؤشر لوني لنجمة ما الفرق بين ضخامتها الفوتوغرافية وضخمتها البصرية . وسنداً للقاعدة التي وضعها بيكرنغ ، يجب أن يكون للنجوم من النمط A0 وسطياً مؤشر معدوم اللون أما النجوم الأكثر زرقة (الطبقة الطيفية B) فلها مؤشر سلبي ، وأما النجوم الأخرى فلها مؤشر ايجابي يكبر كلما ازداد احمرارها . أما مؤشرات اللون الحاصلة فتدل تماماً على هذا التغير التدريجي تبعاً للنمط الطيفي .

وفيما بعد بدا من الافضل استبدال الضخامات البصرية بالضخامات المسماة « بالتصويرية البصرية » التي تؤخذ على صفائح حساسة أمام كل الألوان (اورتوكروماتية) ، حساسة حتى درجة $0,6\mu$ ، مع ذروة حادة تدور حول $0,55\mu$. فإذا اضيف اليها مصفاه صفراء تزيل الاشعاعات البنفسجية ، فان هذه الصفائح تأخذ منحني من الحساسية قريباً من حساسية العين بحيث تصبح الضخامات التصويرية البصرية والبصرية متماثلة تقريباً (باركهورست ، Yerkes actinometry ، 1912) . ووضع سيرس Seares (1915-1925) سلسلة قطبية شمالية ذات ضخامات تصويرية بصرية m_{pv} تشبه السلسلة القطبية ذات الضخامات الفوتوغرافية (m_{pg}) .

إن مؤشرات الألوان الدولية $C = m_{pg} - m_{pv}$ تؤدي إلى تقدير صحيح نوعاً ما لدرجة حرارة لون الكواكب القزمة من السلسلة الرئيسية ، بفضل العلاقة نصف التجريبية الممثلة بالمعادلة التالية : $T_e(^{\circ}K) = 7984/(C + 0,735)$.

وبدلاً من استخدام لاقطين ذوي حساسيات طيفية مختلفة ، من المفيد إضافة مصفائين ملونتين مختلفتين إلى نفس البلاقط (مثلاً صفيحة واسعة الألوان وحساسة تجاه كل الألوان) . وهكذا قد تم تحديد الكثير من أنظمة المؤشرات اللونية (مثل مؤشرات ازرق - احمر في هارفارد) . ولكن الخلية التصويرية الكهربائية تعطي بسرعة أكبر نتائج أكثر دقة . وبواسطة خلية من

التوتاسيوم ، مصفأة زرقاء ومصفأة صفراء ، تسجل القياسات ، عموماً فوق شريطين طيفيين متجاورين يدخل أحدهما في الآخر ، ولكن مؤشرات اللون تحدد عند $0,02 \pm$ ضخامة تقريبية ، وهي دقة مستحيلة البلوغ بواسطة الفوتوغرافيا . من ذلك مثلاً أن استخدام مؤشرات الألوان التصويرية الكهربائية قدم للقياسات التلونية النجمية انجازات ضخمة (بوتلنجر ، 1923 ، ويكر ، 1933 ؛ ستينس ، هوفر وويتفورد ، 1934-1939) .

وقد دلت بحوث هؤلاء العلماء على أن التشتت الملحوظ في مؤشرات ألوان الكواكب (طبقة O و B) يتأتى من الامتصاص الموجود بين الكواكب . ان الكواكب البعيدة ذات الارتفاع المنخفض مجرياً ، تحمر بفعل الامتصاص : ويضاف إلى المؤشر الضمني في الكواكب من نفس النمط القريب من الشمس زيادة في اللون ، تختلف مع اختلاف الاتجاه والمسافة . ولا تكفي القياسات بلونين ، بعدها ، من أجل تمييز درجة حرارة النجوم .

صوّر و . بيكر النجوم فوتوغرافياً من ثلاث مناطق طيفية مختارة : فوق البنفسجية (U) ، وزرقاء (B) وحمراء (R) ثم شكل فروقات الضخامة : $U - B$ و $B - R$ ثم بين ان الكمية ($U - B$) ($B - R$) - هي مستقلة عملياً عن الامتصاص بين النجوم بالنسبة إلى كل الانماط الطيفية . وقد طبق هذه الطريقة على دراسة الكتل المجرية (1941) . وعلى نفسه قام هـ . ل . جونسون و . مورغان بإضافة ثلاثة مصاف إلى مضاعف فوتوغرافي من الكايزيوم والانييموان ، واحدة بنفسجية U وواحدة زرقاء B وواحدة صفراء (V) مرئية . وقد انتشر النظام $U - B - V$ بسرعة كلية .

وقد حدد جونسون ومورغان في بداية الأمر المؤشرات الداخلية الضمنية بعد ردها إلى ما فوق فضاء 290 نجمة غير محمرة ، اختيرت لتمثل كل الانماط الطيفية وكل طبقات اللمعان . وأدى قياس المؤشرات $U - B$ و $B - V$ في النجوم المصابة بالامتصاص بين الكواكب إلى تحديد النمط الطيفي واحمرار النجوم B ، بدقة وبأن معاً .

وفي سلسلة أخرى من الأعمال المهمة التي ظهرت بعد 1942 عمل ستينس وويتفورد على مضعف من الكايزيوم مع الفضة ، فعزلاً بواسطة مصاف 6 مناطق طيفية بين $0,35 \mu$ و $1,03 \mu$. وهكذا استطاعا رسم منحى امتصاص الجزئيات بين الكواكب . وتعتبر هذه القياسات ، وأكثر منها أيضاً القياسات التي تتم بعد عزل خط قوي من الامتصاص بواسطة مصفأة تداخلية (سترومجرين Stromgren ، 1951-1958) ، مساوية لمطيافية تصويرية قياسية بدائية تقريباً .

3 - القياسات الطاقوية

إن اللاقطات الحرارية وحدها الحساسة أيضاً تجاه كل الاشعاعات ، تقيس مباشرة القوة الآتية من النجوم بشكل بريق طاقي . ولكن هذه القوة هي دائماً صغيرة جداً : فقلما تصل إلى 5×10^{-12} أرغس (ergs) في الثانية وفي السنتيمتر المربع بالنسبة إلى نجمين أو ثلاثة نجوم : ومن جهة أخرى ان اللاقطات الحرارية هي أقل حساسية بكثير من اللاقطات الانتقائية مثل العين والصفحة الفوتوغرافية أو الخلايا التصويرية الكهربائية ، من هنا صعوبة القياسات .

وبواسطة راديومتر نيكولسن (1901) ، وفي بؤرة آلة من 60 سنتيمتراً كفتحة ، تعطي بعض النجوم فقط انحرافاً ملحوظاً . وقد تم احراز تقدم كبير بفضل ظهور مزدوجات حرارية كهربائية في الفراغ (1912) ، ثم بعد سنة 1913 استطاع كوبلنتز Coblentz ان يدرس حوالي مئة من النجوم بواسطة تلسكوب من 80 سنتيمتراً . ثم ، وخاصة بواسطة المزدوجات بلاتين - بلاتين ممزوجة بالروديوم ، وفي بؤرة تلسكوب من عيار 250 سنتيمتراً في جبل ولسون استطاع بيتيت Pettit ونيكولسون قياس البريق الطاقوي الصادر عن حوالي 200 نجمة ، حتى حدود درجة الضخامة البصرية الثالثة فيما يتعلق بالنجوم الأكثر بياضاً ، وبدرجة الضخامة الثانية عشرة بالنسبة إلى النجوم الأكثر احمراراً (1922-1928) . ثم وازيا - بالبريق الطاقوي المردود بصعوبة ما إلى سمت جبل ولسون - ضخامة راديومترية تساوي m_r ، اخذت مساوية للضخامة الرؤيوية بالنسبة إلى النجوم A0 . ان مؤشر الحرارة $m_r - m_v$ - المعدوم وسطياً بالنسبة إلى النجوم A0 - يأخذ قيماً ايجابية متنامية ، مثل مؤشر اللون ، بالنسبة إلى النجوم المتزايدة البرودة .

ونظراً لعدم القدرة على قياس البريق الطاقوي في أغلب النجوم ، فانه بالامكان البحث عن حساب هذا البريق انطلاقاً من قياسات اجريت بواسطة لاقط انتقائي . ولهذا يتوجب الحصول على توزيع الطاقة داخل الاطياف النجمية والحصول على منحنى حساسية اللاقط ، ثم - من اجل رد البريق إلى ما فوق الفضاء - الحصول على منحنى النقل الفضائي . وقد اجريت الحسابات انطلاقاً من قياسات بصرية أو تصويرية بصرية ، وذلك برد اشعاع الكواكب إلى اشعاع الجسم الاسود في درجات حرارة معروفة (هرتز سبرونغ 1906 ، ادينغتون 1926) ، ثم بالنسبة إلى النجوم الحارة وانطلاقاً من منحنيات أخرى للطاقة ، نظرية أو ، بالنسبة إلى النجوم الباردة ، انطلاقاً من ضخامات راديومترية (كبير ، 1938) . ان الضخامة المضممة بولومترية m_b اخذت مساوية للضخامة التصويرية البصرية m_{pv} ، عندما تكون ذروة منحنى الطاقة مطابقة للذروة حساسية الصفائح الحساسة تجاه كل الالوان (عند 0.55μ) . وهكذا يصبح التصحيح البولومتري $m_b - m_{pv}$ معلوماً بالنسبة إلى الكواكب التي تجاور درجة حرارتها التلويئية $6500^\circ K$ ويكون ملبياً في درجات الحرارة الأخرى الأكثر سخونة أو الأكثر برودة . ان الضخامات البولومترية تتدخل دائماً في الحسابات المتعلقة بتشعيع الكواكب .

4 - فوتومتريا النجوم غير النقطية

عندما تكون الابعاد الظاهرة لنجم ما قابلة للتقدير ، فيمكن ، من حيث المبدأ ، السعي إلى قياس - عدا عن بريقها النجمي - اضاءتها الذاتية luminance ، أو بريقها النجمي في وحدة الزاوية الجامدة . ان دراسة - نقطة نقطة - الاضاءة الذاتية فوق سطح النجم ليست ممكنة الا اذا كان الامتداد الزاوي كبيراً نوعاً ما (حالة الشمس وتاجها ، وحالة القمر ، وأحياناً حالة الكواكب الكبرى ، والمجرات الكبرى القريبة نوعاً ما ، والسُدم الكبرى) . وبالنسبة إلى السدم الصغيرة المجرية أو الخارجة عن المجرات ، كما هو حال الكواكب ذات القطر الصغير ظاهراً ، تتناول القياسات ، عموماً ، البريق الاجمالي ، ومنه يمكن استخلاص الاضاءة الذاتية الوسطى بعد معرفة الابعاد الزاوية .

يُقاسُ البريق الاجمالي للكواكب (Planètes) ، بنفس الكيفية التي بها يقاس بريق النجوم . ان اشعاعها الحراري الذاتي لا يكون ملحوظاً الا في حالة تحت الاحمر ، وعندها تتناول القياسات المناطق المنظورة أو المناطق البنفسجية ، فقط ، الضوء الشمسي المبعوث من قبل الكوكب . ان بريق الكوكب لا يتغير فقط مع مسافته بالنسبة إلى الشمس وإلى الارض ، بل يتغير أيضاً مع المسافة الزاوية بالنسبة إلى الشمس وإلى الارض مشطورتين من الكوكب (زاوية المرحلة أو الطور) . ان معرفة قانون الطور loi de Phase تقدم معلومات مفيدة حول طبيعة التربة والفضاء الكوكبي . ان القياسات القديمة التي وضعها ج . مولر بواسطة فوتومتر زولنر Zollner ، قد استعيدت واستكملت من قبل دانجون سنة 1948 ، الذي درس قوانين المرحلة في عطارده والزهرة بواسطة فوتومتر بصري ذي حقول متراكمة ، تتيح مقارنة صورة مكبرة قليلاً للكوكب مع صورة صغيرة جداً للشمس ذات بريق يمكن ضبطه . ان قانون الطور بالنسبة إلى القمر قد كان أيضاً موضوع دراسات بصرية وفوتوغرافية قبل الدراسة التصويرية الكهربائية الواضحة جداً التي قام بها روجيه Rougier (1933) . لا بد بالنسبة إلى سلالم الضخامات المستعملة فيما يخص الكواكب ، ربط بريق المجرات الخارجية بهذه السلالم ، لأن هذا البريق يؤثر في تقدير مسافاتهما . ان الطريقة الفوتوغرافية التي وضعها ش . فابري قد نُخِلت ، بالضبط ، من أجل مقارنة مصدر ممتد بمصدر نقطي . وقد اعتمدها بيغي Bigay من اجل الدقة في تحديد الضخامات الفوتوغرافية لـ 175 مجرة (1951) . وقبل ذلك ، جرت قياسات كثيرة وفقاً لطرق هي ولا شك اسهل واسرع ، ولكنها اقل صحة بالتأكد . وفوق الكليشات التي اخذت بواسطة شبيهة قصيرة الطول البؤري ، تعطي الكواكب والاشياء ذات القطر الصغير الظاهر صوراً قابلة للمقارنة تقريباً . وقد تم تحديد ضخامات عدة آلاف من المجرات على هذا الشكل في هارفارد ، ثم في لند Lund ؛ وكانت الصور غير واضحة فضلاً عن كونها مشوبة باخطاء منهجية . وطبقت الطريقة « خارج البؤرة » في هارفارد أيضاً وفي يركس ، وأخيراً ان دراسة توزيع الاضاءة الذاتية فوق كليشات ، على مستوى واسع ، هذه الاضاءة التي تعود إلى مجرات ، يمكن أن تعطي - عن طريق الدمج - البريق الاجمالي ، عندما تُغَيَّر الصفائح مع صور كواكبية خارج بؤرية (ردمان ، هولمبرغ) . ان هذا الاسلوب الدقيق جداً يؤدي إلى نتائج صحيحة ، كما يقدم بذات الوقت معلومات ذات اهمية كبرى حول بنية المجرات .

ان الخلية الكهروضوئية ، الحساسة تجاه كل دفع عام يأتيها ، تستجيب ، بدون صعوبة لكل مقارنة بين المجرات والنجوم . ان مثل هذه القياسات قد أُجريت في بادئ الامر ، في الضوء الشامل ، ثم أُجريت بين لونين وثلاثة ألوان (ستينس ويتفورد وبيغاي Bigay ، ويتيت ، وفوكولور Vaucouleurs) .

ان الدراسة الفوتومترية أي القياسات تصويرية والقياسات لونية للكوكبية تدخل ضمن نفس التقنيات الفوتوغرافية (التصويرية) والتصوير كهربائية . ولكن في حالة السدم ذات الخيوط البراقة ، ليس للقياسات من معنى دقيق إلا عندما تتناول الخيوط الفردية ، المعزولة بواسطة مصاف فتداخلة .

وهكذا بفضل الاستعاضة التدريجية عن العين البشرية بواسطة لاقطات جديدة ، توسع مجال القياسات الفوتومترية ، مع تزايد الدقة بصورة مستمرة ، لتشمل نجوم أكثر فأكثر ضعفاً . وبدا

تطور الفوتومترية النجمية مرتبطاً بشكل ضيق ، باتقان اللاقطات ، حتى ان كل تقدم تقني يفتح آفاقاً جديدة . وأبحاث الخلايا من التلور الرصاصي ، بدون شك ، وبسرعة ، التوسع في القياسات لتشمل تحت الاحمر حتى درجة أربعة ميكرون (4μ) . وقد عرفت الفوتوغرافيا ، التي لم تكن تنفك تخسر أمام التصوير الكهربائي ، نشاطاً مستعاداً عندما اندمجت بهذا التصوير الكهربائي بشكل ماسمي بالفوتوغرافيا الالكترونية . وبواسطة كاميرا لاليمان Lallemand ، التي تحول بأمانة الصورة التي تعطيها فوتونات على الكاثود إلى صورة الكترونية على الصفيحة ، فإن مدة التصوير (الوقفة) أو الوضع قد تقلصت بشكل ضخم ، وأصبحت القياسات الفوتومترية سهلة للغاية بفعل ان الصفائح الخاصة بالالكترونيات تخضع لقانون نسويد أبسط من الصفائح الحساسة تجاه الضوء .

VIII - النجوم المزدوجة ذات الكسوفات

إن رصد النجوم المزدوجة بصرياً (المجلد III) لم يعد الا من شأن عدد قليل من الرصايد الدؤوبين . فقد أضيف إلى التقنيات التقليدية (الميكرومتر الخيطي ، الفوتوغرافي) ، في سنة 1939 ، الميكرومتر ذو الصورة المزدوجة الذي وضعه پ . مولر ، والمكيف خصيصاً من أجل استبعاد المفاعيل المعروفة في المزدوجات الضيقة . ان معارفنا حول ككل النجوم تتركز بشكل كامل تقريباً على المعطيات المتعلقة بحوالي 250 ثنائياً بصرياً ، عناصرها واختلاف منظرها (parallaxe) قد تحددت وعرفت ؛ ولا يمكن بالتالي الا التأسف للموقف الشاحب ، تجاه هذا الموضوع .

وبالمقابل ، ان دراسة النجوم ذات الكسوفات كانت موضوع أعمال مهمة . ان هذه النجوم المزدوجة المرصودة طيفياً تظهر تغيرات منتظمة في بريقها متميزة بتقلصات دورية . فمذ 1783 عزا غودريكي Goodricke إلى الكسوفات تقلصات الغول Algol (بتا (β) برسي ؛ المدى $= 1,2$ ضخامة ؛ حقبة 2,87 يوما) ، وقد ثبت هذا التأويل عندما قرر فوجل ان الامريتهل بنجمة مزدوجة يُرى طيفها بالمرصد (1889) . وتزول السرعة الشعاعية في لحظة التقلص القصوى : في هذه اللحظة تنكشف المركبة البراقة بالمركبة الاقل بريقاً . وبعد نصف حقبة تصبح النجمة الضعيفة بدورها منكسفة بالنجمة الأكثر بريقاً وعندها يلحظ تقلص ذو اتساع أقل وأدنى ($= 0,05$ ضخامة ، ستينيس ، 1910-1920) . ويصبح الاقلاق أو التقلصان على نفس المسافة تعاماً عندما يكون المدار دائرياً ؛ وقد لا يكونان عندما يكون المدار بيضاوياً . ان عمقهما النسبي يختلف كثيراً بين مزدوج من النجوم وآخر .

وخارج نطاق الكسوفات ، تكون تغيرات بريق الغول ضعيفة جداً . فتغيرات بتا ليرا β Lyrae (غودريكي ، 1784 ، حقبة 12,92 يوماً ، اتساعات التقلصات مجاورة لـ 1,0 و 0,5 ضخامة) هي ، بالعكس بارزة جداً . فهي تدور منحني الضوء إلى درجة أن فرضية الكسوفات لم تفرض في الحال . ولكن بيكينغ اكتشف فيها مزدوجاً طيفياً (سبكروسكوبياً) (1891) . وقبل ذلك عشر سنوات ، عثر على السبب الرئيسي للتغيرات الدائمة : ان النجمتين ، القريبتين احدهما من الأخرى ، ليستا كرويتين . ويمكن تشبيههما بالبيضاويتين الدائرتين محورياً ،

المتشابهتين ، الممتدتين باتجاه مركزيهما ، ودائرتين حول محوريهما الصغير ، بخلاف فترة تساوي فترة الدوران . ان تغير مسطحهما الظاهر كيبضاويتين يحدث بالضرورة ، بخلاف الدوران ، تغيراً في البريق مستمراً . إن دوران النجوم ، قد ثبت فيما بعد من خلال تفاوتات السرعة الشعاعية قبل وبعد منتصف الكسوف : ويتلقى الراصد قبل الحد الأدنى الضوء الصادر عن الطرف الذي يقترب . ان تأويل التغيرات الخارجة عن الكسوفات يُعْمَلُ أيضاً « أثر المرحلة » (l'effet de phase) : فالمرْكَبَتان تضيء إحداهما الأخرى ، ومسطحاهما المتقابلان يصبحان أكثر اضاءة . ان الامر ليس مجرد انعكاس ، بل هو ظاهرة معقدة من ظاهرات تحويل الاشعاع . وهناك مفاعيل ثانوية أخرى قد تهمل في اكثر الاحيان .

• إن النظرية الفوتومترية حول المزدوجات ذات الكسوفات قد طورت بشكل خاص من قبل هـ . ن . راسل (1911-1912) بالنظر إلى صحن النجوم باعتبارها برافة بشكل واحد متسق . وقد وسّع راسل وشابلي 1912 الحسابات فأشملها الحالة التي تكون فيها الصحنون ، مثل صحن الشمس ، معتمة عند الحواشي ، وطبق شابلي الطريقة على تسعين زوجاً (1915) . وادخلت تحسينات متنوعة فيما بعد ، خاصة من قبل كويال (1946-1950) .

ومن المهم قبل كل شيء الحصول على منحني من الضوء واضح جداً . ولمدة طويلة منحت الأفضلية - مع بعض القياسات الفوتوغرافية التي قام بها هرتز سبرونغ - للقياسات البصرية التي أجريت بواسطة فوتومتر بيكرينغ ، خاصة من قبل دوغان Dugan ، الذي حسب بنفسه العناصر الفوتومترية في العديد من الأنظمة . ولكن التوجه الآن منصب على القياسات التصويرية الكهربائية ، التي تستطيع وحدها الوصول إلى دقة تعادل واحداً على مئة من الضخامة .

إن دراسة التغيرات الخارجة عن نطاق الكسوفات قد أتاحت حسابان مفاعيل البيضاوية ، ومفاعيل المرحلة ثم بناء منحني الضوء المسمى « المصحح أو المعدل » الأفقي بين الكسوفات ، الذي يرصد في حال غيابها . ان تحليل هذا المنحني يؤدي إلى تقدير نسبة الكثافة الضوئية luminance في المرْكَبَتين ، وإلى تقدير النسبتين R_2/a و R_1/a لشعاعيهما بالنسبة إلى الشعاع a للمدار النسبي ، وأخيراً إلى ميل (i) سطح المدار بالنسبة إلى السطح الملامس للكرة السماوية .

وعندما نلاحظ في الطيف أنظمة الخيوط العائدة لكل من المكونات ، فان دراسة منحني السرعة الشعاعية تعطي اتجاه المدار في سطحه ، وتعطي مدى خروجه أو انحرافه عن المركز ، والحاصل $a \sin i$ (a) (بالاشعة الشمسية أو بالكيلومترات) ، وتعطي أخيراً حاصل مكعب جيب i ($\sin^3 i$) لككتل النجمتين (بالكتل الشمسية أو بالغرامات) .

وعندما يتم رصد الطيفين ، يعطي دمج العناصر التي تقدمها الفوتومتريا والمطيافية أخيراً - وبالكيلومتر - شعاع النجمتين ، وكتلتيهما بالغرام وثقلهما النوعي بالغرام في المستم المعكب . وتبدو هذه المقادير اليوم شبه معروفة فيما يتعلق بحوالي ثمانين زوجاً .

وفيما خص نجوم السلسلة الرئيسية تنقلص الاشعة دائماً من الطبقة O (أكثر من عشرة أشعة شمسية) إلى ، الطبقة G (شعاع شمسي واحد) . وتتضاءل الكتلة بسرعة من الطبقة O (أكثر من

عشرين كتلة شمسية) إلى الانماط الأخيرة A ، ثم ببطء شديد إلى الطبقة F وإلى الطبقة G حيث تصبح قريبة من طبقة الشمس . ولما كان الحجم يتضاءل بأسرع من الكتلة ، فإن الثقل النوعي يزداد باستمرار من النجوم O إلى النجوم K ، بسرعة فائقة في البداية ، ثم ببطء شديد فيما بعد . ويتضاءل الثقل النوعي من 0.1 غرام في السنتيمتر المكعب في الانماط الأولى B ، حتى يبلغ 1 غرام/سم³ في الطبقة F ، ويقترب من 2 غرام/سم³ في الطبقة K . وبالنسبة إلى الكواكب العملاقة ، النادرة الوجود في المزدوجات ذات الكسوف ، نجد كثافات (ثقل نوعي) تتراوح بين 0.008 و 0.03 غرام في السنتيمتر المكعب . وأخيراً ان بعض العملاقة الخارقة ، التي يساوي شعاعها عدة مئات أو ألفاً من الأشعة الشمسية تؤدي إلى كتل خاصة نوعية تساوي أو تقل عن 0.001 مليون غرام في السنتيمتر المكعب .

وبدلاً من التقسيم القديم إلى « الغوليد » (Algolides) وإلى نجوم من نمط بتا ليراي β Lyrac ، يعتمد اليوم تصنيف فيزيائي أكثر دقة ، يدخل الاطيف والكشافات الضوئية في المكونات . وفيما بين النجوم ذات الكسوفات ، ان كثرة وتواتر الانماط الطيفية من عيار B و A تنتج عن مفعول انتقائي يعزى إلى الزخم الضوئي الأكبر في هذه النجوم . وضمن فضاء محدود حول نطاق الشمس ، ان النجوم من نمط و . أورسي ماجوريس W. Ursae Majoris ، هي في الواقع ثلاثين مرة أكثر عدداً في كل وحدة حجم (شابيلى ، 1946) . ان الامر يتعلق بأزواج من النجوم القزمة الشديدة القرب بعضها من بعض والشديدة البياضوية من النمط الطيفي المتقدم (خاصة F و G) ذات الحقبة التي تقل عن يوم واحد .

إن الدراسة المطيافية المفصلة للمزدوجات الشديدة الالتصاق قد كشفت في الكثير من الحالات عن تعقيدات فيزيائية غريبة تجعل العناصر المحسوبة غير موثوقة .

إن النجوم و . أورسي ماجوريس والمزدوجات المتلاصقة من النجوم B ، محاطة بخلاف غازي مشترك (و . ستروف) . ان وجود حلقة غازية ذات دوران سريع قد اكتشف حول مكونة ر ونوري RW Tauri البراقة . وتظهر تيارات غازية أحياناً بين النجمتين (مونوسيروتيس U. X. Monocerotis وبتا ليراي β Lyrae) . وحول بتا ليراي يوجد أيضاً اما حلقة غازية تتوسع وتنتشر (ستروف) ، أو حلزون من الغاز المقذوف من قبل احدى المكونات .

إن مجمل هذه النتائج أوحى لستروف بالرسمية التطورية التالية : بتكثف غمامة بين النجوم تولد أولاً نجمة B ضخمة (عشر كتل شمسية) ذات دوران سريع وشديدة التسطح ، يؤدي عدم استقرارها الجذري إلى الانشقاق ، معطياً مزدوجاً مماثلاً لـ او كورونا بوراليس U. Corona Borealis (طيف A و G ، كتل 4 و 2 شموس) . وأخيراً ان انشقاق المكونة الأصغر والأقل كتلة يؤدي إلى تشكل نظام كوكبي ، بحسب فرضية نشكونية (نشأة الكون) قال بها فون ويزساكر . ان تكون هذه الرسمية صالحة أو غير صالحة ، من المؤكد ان دراسة المزدوجات المتلاصقة يجب ان تساهم بفعالية في حل المسائل التي يطرحها تطور النجوم .

IX - النجوم المتغيرة

إن أول نجمة متغيرة معروفة هي ميراسيتي Mira Ceti وقد اكتشفت سنة 1596 من قبل د . فابريسيوس D. Fabricius ، ويعد ذلك بثلاثة أرباع القرن ، في سنة 1667 ، لاحظ ج . مونتانياري أن بتا پرسسي β Persei (الفول) لم تكن ثابتة الحال . وفيما بعد ، زاد عدد النجوم المعروفة بتغيرها ؛ ببطء أولاً ، ثم بسرعة أكبر فأكثر فيما بعد . في سنة 1865 سجلت 113 نجمة متغيرة . إن الجدول التالي يعطي عدد النجوم المتغيرة الموجودة في مختلف الكاتالوجات المنشورة منذ نهاية القرن التاسع عشر .

وإن أخذنا في الاعتبار النجوم الواقعة في الكتل الكروية ، وفي غيوم ماجلان والمجرات الأخرى الخارجية والتي لا تظهر عموماً في هذه الجداول ، فإن عددها يتجاوز 20000 .

إن النجوم الأولى المتغيرة قد اكتشفت عرضاً أثناء أرصاد بصرية ، ولكن الفوتوغرافيا ، التي كثر استعمالها منذ أواخر القرن التاسع عشر ، هي التي أتاحت الاكتشاف المكثف ، خاصة في مرصد هاوفارد ، تحت إشراف وتشجيع أ . ش . بيكيرينغ ، ثم ه . شابيلى . وقد استعملت طرق عدة لمقارنة كليشيهات نفس الحقل ، حاصلة في عدة حقب مختلفة : تركيب كليشه سلبية مع ايجابية ، المقارنة المباشرة بين سلبيتين ، تفحص في « البلك - ميكروسكوب » أو المكبر - المقارن . ومن أجل التقاط المتغيرات السريعة جداً ، تلتقط لقطات متعددة لحقل ما بخلخل نفس الليلة . ويمكن أيضاً التعرف على ماهية المتغيرات بواسطة طيفها .

عدد المتغيرات	واضع الكاتالوج	السنة
393	م . ش شاندلر	1896
1425	ميس آ . كاتون	1907
2054	ج . مولروي . هارتونج	1920
4611	د . هاجر	1930
8445	هـ . شلر	1941
10912	ب . و . كوكاركن وب . ب . باريناغو	1948
14708	ب . و . كوكاركن وب . ب . باريناغو	1958

إن الرصد الفوتومتري للنجوم المتغيرة يقوم على قياس ضخامتها في لحظة معينة . ويتسجيل ذلك فوق رسم بياني ، يوضع الوقت في الاحداثي الأفقي (محسوباً بالأيام الجوليانية) والضخامات عند الاحداثي العامودي ونحصل على منحني الضوء . لقد جرت الأرصاد الأولى دائماً بصرياً ، وعلى العموم بواسطة أساليب درجات ارجيلاندر Argelander ، المستعملة منذ منتصف القرن التاسع عشر . وحوالي بداية القرن العشرين تأسست جمعيات تضم أرصاد الكواكب المتغيرة في العديد من البلدان ، وضمت هواة ومحترفين . ووضعت هذه الجمعيات البرامج . وقدمت

خارطات تعريف للرصد وجمعت الملاحظات والارصاد وأمنت اذاعتها ونشرها .

وهكذا تشكلت في انكلترا حوالي سنة 1905 شعبة النجوم المتغيرة التابعة للجمعية الفلكية البريطانية ؛ ثم تأسست الجمعية الاميركية لرصاد النجوم المتغيرة (A. A. V. S. O) سنة 1911 في الولايات المتحدة من قبل بيكرينغ ؛ وقد سجلت بعدها حوالي ألف نجم في برنامجها ، وأمنت نشر أكثر من مليون عملية رصد . وتشكلت تجمعات مماثلة : في فرنسا : (A. F. O. E. V) مع ج . ماسكاروت ود . غرويه وآ . برون) وفي اليابان ، وفي نيوزلندة وفي الاتحاد السوفياتي ، الخ .

إن هذه الارصاد البصرية الجارية بالعين المجردة ، وبالمنظار أو بواسطة المنظار الطويل أو التلسكوب ، هي ذات دقة كافية للحصول على المنحنيات الضوئية الجيدة في حالة نجوم ذات مدى تغير أكبر (متغيرات طويلة أو غير منتظمة الحقب) . من الضروري إجراء قياسات أكثر دقة من أجل بناء منحنيات ضوء المتغيرات ذات المجال الضيق : مثل السيفيديات أو مثل المتغيرات ذات الكسوفات . وعندها تستعمل الاجهزة وتطبق طرق الفوتومتريا البصرية وطرق الفوتوغرافيا أو التصوير الكهربائي من أجل رصد هذه الكواكب .

وتفحص هذه المنحنيات الضوئية يدل على وجود فئات مختلفة جداً من النجوم المتغيرة . انها دراسة الحقبة ، والاتساع والشكل المنتظم ، فيما خص منحني الضوء ، هي التي أدت إلى التصنيفات المتتالية المتزايدة التعقد . وأشهر التصنيفات هي تصنيفات آ . ك . بيكرينغ سنة 1911 ، وتصنيفات آ . نيجلانده سنة 1913 ، وتصنيفات ب . غوتنيك سنة 1921 ، وتصنيفات شنلر Schneller سنة 1939 . وأحدث التصنيفات هو تصنيف كانالوغ ب . و . كوكاركين وب . ب . بارنغو الذي نشر سنة 1958 ، وفيه وزعت المتغيرات إلى ثلاث مجموعات كبرى هي : 1- النجوم المرتعشة وتقسّم إلى 22 نمطاً ؛ 2- المتغيرات المتفجرة وفيها 12 نمطاً ؛ 3- المزدوجات ذات الكسوفات وفيها 5 أنماط . وهذا هو التصنيف الأكثر كمالاً المتيسر لنا في الوقت الحاضر .

السيفيديات - إن طبقة السيفيديات هي من الطبقات المهمة ؛ في سنة 1895 عرف منها 33 نجمة فقط ، تتراوح حقبها بين يومين ونصف و 39 يوماً مع اتساعات تتراوح بين نصف ضخامة وضخامة كاملة . في هذا التاريخ بالذات ، اكتشف م . ج . بايلي في بعض الكتل الكروية (م 5) متغيرات ذات صفات متشابهة ، انما تنقص حقبها عن عشرين ساعة ، وذات نمو في البريق سريع جداً . وتم في السنوات اللاحقة اكتشاف العشرات من هذه المتغيرات . وفي مطلع القرن عثرت مسز و . ب . فليمغ خارج الكتل الكروية على سفيدية ذات حقبة صغيرة : هي ر . ر . ليراي التي تتسم بذات الصفات التي تتسم بها متغيرات الكتل . وأدى استخدام الفوتوغرافيا بعد ذلك إلى اكتشاف العديد من المتغيرات الأخرى من نمط ر . ر . ليراي . ونعرف اليوم في مجرتنا أكثر من 600 سفيدية كلاسيكية (ذات حقبة تزيد على يوم واحد) وأكثر من 2000 في المجرات الخارجية خاصة في غيوم ماجلان . وقد تم احصاء 2000 متغيرة من نمط ر . ر . ليراي R.R. Lyrae وذلك في المجرة ، ومنها 600 مجموعة في الكتل الكروية .

وتم اكتشاف متغيرات دورية المرحلة والشكل من حيث منحني الضوء في بعض النجوم من

نمط ر . ر . ليراي والسفيديات الكلاسيكية وذلك في سنة 1915 من قبل مس . ن . بلاشكو Blazhko (مقبول بلاشكو) . ولوحظ وجود تغيرات خفيفة في الحقب من قبل و . ك . مارتان سنة 1938 ، في عدة من نجوم ر . ر . ليراي وفي كتلة أومينا ستوري Centouri ، وذلك بمقارنة الارصاد التي جرت بين 1931 و 1935 بالارصاد التي قام بها بايلي بين 1892 و 1898 . ان بعض المتغيرات من هذه الكتلة لها تموجات مهمة جداً ، بحيث يصعب اعتبارها كتغيرات دورية طويلة مشابهة للتغيرات السابقة . وأجريت أرصاد مماثلة فيما بعد في كتل كروية أخرى من أجل نمط ر . ر . ليراي ومن أجل السفيديات الكلاسيكية أيضاً . ان حقبة ر . ر . سيفي من نمط ر . ر . ليراي قد تقلصت ثم استطالت تبعاً بعدة ثوان بين 1898 و 1932 .

في سنة 1912 اكتشفت الأنسة ه . مس . ليفيت Leavitt العلاقة بين الحقبة واللمعية في السفيديات ، وهي علاقة ذات أهمية رئيسية من أجل تحديد المسافات بين المجرات . وتم العثور فضلاً عن ذلك على اشارات متعلقة بتقرير هذه العلاقة وقياسها المؤقت وكذلك بمراجعة سلم المسافات الذي اقترحه و . باد Baade سنة 1952 . ان الضخامة المطلقة القريبة من الصفر والتي عزيت لمدة طويلة إلى النجوم من مثل ر . ر . ليراي تتطلب بدون شك ادخال تغيير بسيط عليها ؛ إذ يبدو على أثر الاعمال الذي قام بها باريناغو Parenago سنة 1955 وو . ج . أغجن Eggen سنة 1961 أن الزخم الضوئي لهذه النجوم هو في الواقع أضعف قليلاً (الضخامة المطلقة تراوح بين زائد نصف وزائد واحد) .

إن ما أدخله باد سنة 1944 من مجموعات نجمية فئة أولى وفئة ثانية كان من نتيجة توضيح مسألة تصنيف السفيديات . فقد ظهرت السفيديات الكلاسيكية ذات الحقبة الاعلى من يوم واحد مجرد أشياء من الفئة أولى مع علاقة حقبة - لمعان مختلفة ؛ ان هذه الكواكب تأهل صحن المجرة وهي تتمحور في أذرع الحلزون ؛ وهي تشكل ما يسمى بنظام تحتي مسطح . أما المتغيرات من نمط ر . ر . ليراي ، وكذلك متغيرات الكتلة وكذلك السفيديات غير الطبيعية ، ذات الحقبة الاعلى من يوم واحد (نمط و . فيرجينيس) هي بالعكس مجرد أشياء من الفئة II ؛ وهذه المتغيرات تأهل نواة المجرة وهالتها ؛ وهي تنتمي إلى نمط كروي تحتي . ان السفيديات غير الطبيعية لها علاقة حقبة - لمعان مختلفة عن علاقة السفيديات الكلاسيكية ؛ وهي تتوافق مع علاقة النجوم من نمط ر . ر . ليراي . إن وجود المتغيرات السريعة من نمط ر . ر . ليراي من الفئة واحد لم يتقرر بصورة نهائية بعد .

إن الكتل المجرية من الفئة واحد (كتل مفتوحة) اعتبرت لمدة طويلة كتشكيلات تكون فيها المتغيرات غائبة - إذا استثنينا المزدوجات ذات الكسوفات - وذلك تعارضاً مع الكتل الكروية التي تحتوي منها الكثير أحياناً . ومنذ 1925 ، تكهن ب . دوا بوجود سفيديات في بعض الكتل المجرية ولكن البرهان عليها لم يقدم إلا في سنة 1955 من قبل ج . ب . ايرفين ، ود . و . ن . ستيس : و . ساجيتاري في م 25 ؛ وس . نورما في ن . ج . ك . 6087 . ان هذا الاكتشاف مهم جداً لأنه يتيح تحديداً مستقلاً للعلاقة حقبة - لمعان ، كون المسافة في الكتلة قد تحدد بدقة بواسطة الفوتومتريا . ان المتغيرات ت . توري هي أيضاً موجودة في الكتل المجرية ، وخاصة في الكتل

المجتمعة إلى سدم (مثلاً : ن . ج . ك . 2264) .

إن طيف السيفيديات متغير : في الذروة تكون النجمة من نمط أقل تقدماً مما هي في الحضيض . وقد أثبت باريناغو علاقة احصائية بين النمط الطيفي والحقة مرتكزاً على دراسة 248 سيفيدية في كاتالوغه (1948) : أن الطيف الوسط في و . ر . ليراي (A 6) مستقل عن الحقة ؛ أن طيف السيفيديات الكلاسيكية الوسط يصبح أكثر فأكثر تقدماً ، من ف . 6 إلى ج . 8 ، كلما طالت الحقة . أن السيفيديات II (و . فريجنيس) تتبع قانوناً مماثلاً انما مع فارق يعادل 0,7 ، طبقة تقريباً باتجاه الأنماط الأقل تقدماً (آ . هـ . جوري ، 1949) .

إن التغيرات الدورية للسرعات الشعاعية المرصودة في السيفيديات قد أوحى ، في بداية القرن ، بالفرضية القائلة بأن هذه الكواكب هي مزدوجات مطيافية . وبعد اكتشاف الطبيعة فوق العلاقة للسيفيديات ، من قبل أ . هرز سبرونغ وهـ . ن . راسل سنة 1913 ، بدت هذه النظرية محالة : فقد اقتضت أن يدور المرافق داخل النجمة الرئيسية أو الام (هـ . شابلي ، 1914) . أن تغير برقي السيفيديات أصبح اليوم واضحاً ومفسراً بواسطة نظرية النبضات .

المتغيرات ذات الحقة الطويلة . - معرف حوالي 4000 نجمة من طبقة المتغيرات ذات الحقة الطويلة (ميراسيتي) . وهي تتميز بحقب تتراوح عموماً بين 200 و 400 يوم ، واتساعات كبيرة جداً من حيث التغير : 4 إلى 7 ضخامات في المجالين البصري والفتونوغرافي . إلا أن القياسات الراديومترية الشعاعية هي أضعف من ذلك بكثير : اتساع من 1,1 ضخامة راديومترية في حالة ميراسيتي . إن المتغيرات ذات الحقة الطويلة نجوم حمراء تنتمي إلى الطبقات الطيفية M ، R ، N أو من S ومعظمها ذات خيوط بث (سلسلة بالمر ، حديد حيادي أو مؤين ، الخ) . وقد ادخلت الطبقة S من قبل ب . و . ميريل سنة 1922 ؛ وهي تتضمن نسبياً القليل القليل من النجوم وقد عثر ل . كمبل ومس آ . كانون وهما يدرسان في سنة 1928 التوزيع بين مختلف الطبقات الطيفية على النتائج التالية :

M	م	اشعة من أوكسيد التيتان (TiO) ..	15 %	حقة وسط	216 يوماً
Me	مي			حقة وسط	298 يوماً
S	سي	اشعة من أوكسيد الزيركونيوم (ZrO) ...	4,8	حقة وسط	367 يوماً
N	ن	(نجوم مكرنة)	5	حقة وسط	379 يوماً

في سنة 1919 رصد ميريل خيوطاً سدسمية في طيف ر . اكوارى R. Aquarii . ولاحظ أن النجمة الحمراء لها رفيق أزرق متغير أيضاً ، والنجمتان تقعان ضمن غلاف من السديمية . وسمى هذا الاشتراك بعبارة « النجوم المتكافئة » . وهناك دراسة مفصلة جداً لطيف ميراسيتي ، نشرت سنة 1924 من قبل جوي Joy ، تؤكد أن خيوط البث تدل على سرعة شعاعية اقترابية بالنسبة إلى خيوط الامتصاص .

إن تغيرات الحقة كانت موضوع بحوث دقيقة من قبل ت . إ . سترن ول . كمبل سنة 1937 : شملت 377 نجمة رُصدت بصورة جيدة ، وتغيرات الحقة فيها هي ، في كل الحالات تقريباً موجات احصائية خالصة ؛ وبالنسبة إلى 5 نجوم فقط تبدو التغيرات في الحقة مقررة تماماً .

إلى هذه الطبقة الكبرى يمكن ربط المتغيرات الأخرى الحمراء : حقب طويلة في الاتساع أقل من 2,5 ضخامة ، نصف منتظمة وذات تغيرات دورية إلى حد ما ومتغيرات غير منتظمة .
وانشئت الطبقة ر . ف . ف . توري سنة 1912 من قبل س . اينيبو Enebo . وهذه النجوم ذات تغيرات قليلة الانتظام بحيث يستحيل رسم منحني ضوئي وسط لها ، ان الدراسات السبكروغرافية ذات التشتت الكبير دلت على مشابهاة مع السيفيديات من نمط و . فيرجينس .

المتغيرات البركانية - ان المتغيرات الانفجارية من نمط و . جيمينورم W. Geminorum أو س . س . سيغني S. S. Cygni يصيبها ، على فترات زيادات مفاجئة في البريق تتجاوز أحياناً 4 ضخامات ، ثم تعود بعدها ببطء إلى بريقها الأول . ان مدات الذروة قصيرة بالنسبة إلى الفترات التي تفصل بينها . والدراسة الاحصائية لكل أرصاد س . س . سغني منذ اكتشافها سنة 1896 حتى سنة 1933 من قبل ستيرن وكيمبل (1934) تدل على وجود علاقات مفيدة بين أهمية الذروات ومدة الفترات . وسنداً لقياسات السرعة الشعاعية بالنسبة إلى حضيض اللعنان ، استنتج جوي ، في سنة 1955 ان س . س . سيغني كانت نظاماً مزدوجاً ذا أمد قصير جداً (0,276 يوماً) . وذكر ر . ب . كرافت سنة 1961 ان أربعاً أخرى من المتغيرات في هذه الطبقة هي أيضاً ثنائيات ، مما يقوي الفرضية القائلة بأن كل المتغيرات من النمط و . جيمينورم هي ثنائيات مطيافية . والضخامة المطلقة لهذه النجوم التي يقارب عددها المئة ما تزال موضوع جدل .

واعتبرت آ . ي . اكواوي لمدة طويلة كمتغير ذي أمد طويل ، ولكن في سنة 1938 ، لاحظ أ . زينر تزايدت سريعة في البريق تبلغ عدة ضخامات واقترح تعريف هذه النجمة مع المتغيرات من نمط و . جيمينورم ، وفي سنة 1943 بين جوي ان طيفها يشبه طيف س . س . سيغني ، في حالة الحضيض ، وقرر سنة 1954 طبيعتها المزدوجة . ويمكن تقرب المتغيرات ز . كامبلو بارداليس Z. Camelopardalis التي تتشابه شهاً كبيراً في منحني الضوء والطيف ، من طبقة و . جيمينورم .

إن النجوم من طبقة ر . كورونابوراليس Corona Borealis تتميز ببريق ثابت إلى أقصى حد ، وضخامة التغيرات الضوئية في حالات الحضيض أو الحد الأدنى ، والمسافات التي تفصل بينها توزع بشكل كامل عشوائياً كما أثبت ذلك ستيرن سنة 1935 . واجريت دراسات مطيافية مفصلة جداً حول ر . كورونابوراليس من قبل جوي وم . ل . هوماسون منذ 1933 ، ثم سنة 1935 من قبل ل . بزمان الذي عثر على غزارة كبيرة في الكربون في الفضاء ، وفي سنة 1949 ، خلال التناقص الضوئي والحضيض من البريق من قبل ج . ه . هريغ . وهناك محاولة لتأويل تغيرات البريق اجريت من قبل ج . و . كيف سنة 1939 .

إن الطبقة الاقرب إلى التنافر في المتغيرات ر . و . أوريف R. W. Aurigae انشئت من قبل باريناغوس سنة 1932 ، الذي نظر بصورة رئيسية إلى الصفات الفوتومترية . انها ، بالعكس ، معايير مطيافية تلك التي تلعب دوراً حاسماً في التعريف الذي قدمه جوي سنة 1945 بالنسبة إلى المتغيرات ت . توري ذات الصفات المماثلة

إن هذه الأخيرة هي متغيرات قزمة غير منتظمة واقعة في سدم مظلمة ؛ وهي ذات أطراف ذات خطوط بث . وسنداد ل. ب . ن . كولويوف (1955) أن أكبر قسم من متغيرات ر . و . أوريفا تنتمي إلى الاتحادات ت ؛ أنها نجوم شابة جداً . ومع المتغيرات « هريغ - هارو » التي اكتشفت سنة 1953 في سديم أوربون ذات ه الفا $H\alpha$ في البث ، فهي تشكل مجموعة من النجوم التي تثير الفضول والاهتمام بشكل خاص .

المستجدات - هناك أكثر من 150 نجمة جديدة قد اكتشفت في مجرتنا (ك . باين - كابوشكين ، 1957) . وأكثرها شهرة هي : نوقايرسي ، 1901 ؛ نوقا أكيل ، 1918 ؛ نوقا سيفني ، 1920 ؛ نوقا (د . ك .) هركولس ، 1934 .

إن تنوع المستجدات المجرية قد درسه د . ب . مك لولن (1936 و 1945) وي . م . كويلوف (1955) وباين كابوشكين (1957) : أن المستجدات تظهر في اتجاه الوسط المجري ؛ وهي تأمل أيضاً نصف نظام من السطح الوسيط وتبدو بالتالي واقعة بين الجمهورين الكلاسيكيين واحد واثنين اللذين قال بهما باد . في سنة 1936 نشر مك لولن McLaughlin مبنحني ضوء رسيبي يتلام مع غالبية المستجدات .

وقد رصد أكثر من 40 مستجدة في م 31 (ه . ش . ارب ، 1956) وفي بعض المجرات الأخرى المجاورة : غيوم ماجيلان ، وم 33 . أن دراسة المستجدات من م 31 ، قد مكن أرب من إيجاد علاقة بين الضخامة المطلقة في الذروة وسرعة التقهقر : فالمستجدات السريعة جداً ، والسريعة والبطيئة تبلغ على التوالي الضخامات المطلقة المتوسطة : 8.3 - ، 7.3 و 6.1 - . وكانت البحوث المطيافية المتعلقة بالمستجدات عديدة وتفسيرها أكثر فأكثر وضوحاً (مك لولن ، 1937-1942) . واليوم أصبحت عملية انفجار المستجدات معروفة بشكل عام .

المستجدات الفارقة - منذ سنة 1895 وحتى 1920 ، جرى إكتشاف اثني عشرة مستجداً في مجرات متنوعة ، دون ملاحظة ومعرفة صفتها الحقيقية بوضوح ، في حقبة كانت فيها الطبيعة خارج - المجرية لهذه السدم ، ما تزال موضوع نقاش . وإلى ه . شابلي تعود الأولية في التعرف ، سنة 1917 ، إلى أن المستجدات قد تنتمي إلى طبقتين متميزتين تماماً : المستجدات الطيبة أو العادية والمستجدات الخارقة ، والفروقات في الضخامة المطلقة عند الذروة تبلغ معدل 8 إلى 10 . أن المستجدات البراقة التي رصدت في النظم الخارجية هي في الحقيقة مستجدات خارقة . وبين 1920 و 1933 تم إكتشاف أربعة أخرى من هذه الأشياء . وابتداءً من سنة 1936 قام ف . زويكي Zwicky بالبحث في 175 حقلاً صورها بشكل منهجي بواسطة تلسكوب شميدت ذي الـ 45 ستم والمركز حديثاً في جبل بالومار ؛ وفي ما بين 1936 و 1941 تم إكتشاف 18 مستجدة خارقة ، وأثبت زويكي أن التواتر الوسطي هو بمعدل مستجدة عملاقة في كل مجرة ويخلل كل 430 سنة .

وهناك نمطان من المستجدات الخارقة تعرف عليهما ر . مينكوسكي سنة 1940 : النمط واحد الذي يضم الأشياء الأكثر اخساء ($M_{pg} = -18$) والنمط اثنين ($M_{pg} = -15$) ، وأطياها

مختلفة بشكل جذري . ان الدراسات المطيافية لهذه الاشياء قلما عولجت سنة 1937 ، وهو تاريخ حصل فيه مينكوسكي وهوماسون على سلاسل جميلة من أطيايف عملاقتين من النمط واحد اكتشفت في ي . م . 4182 ون . ج . س . 1003 .

إن طيف م . ن . 1960 (S. N. 1960) في ن . ج . م . 4496 N. G. C المرصودة من قبل ج . دوفي ود . شالونج والأنسة م . بلوش ، يشبه بقوة طيف م . ن . لسنة 1937 الذي ظهر في ي . م . 4182I. C . إن المستجدات الخارقة من النمط الثاني تبدو ذات أطيايف شبيهة بأطيايف المستجدات العادية ، مع سرعات انتشار من عيار 5000 حتى 10000 كلم/ثانية . وبعد أكثر من عشرين سنة من البحوث ، لم يكن بالامكان تأويل أطيايف المستجدات من النمط الاول .

إن السديم المذب ، سديم كراب (M. 1 = 1) ، بقية المستجدة العملاقة المجرية من المرتبة 1054 ، كان موضوع دراسات مفصلة قام بها يادومينكوسكي (1942) ؛ وقد تم التعرف عليه كمصدر اشعاعي زخيم من قبل ج . ج . بولتون J. G. Bolton وك . س . ستانلي سنة 1949 ؛ ان اشعاعه ضمن المجموعة المتصلة المرئية ، شديد التكثف .

X - المجرة - المادة فيما بين النجوم

بالنسبة إلى علماء الفلك من القرن التاسع عشر ، كان الفضاء بين النجوم فراغاً من المادة كائناً واكتشاف الذرات ، والخلايا وجبيبات الغبار في الفضاء هو أحد المكتسبات الكبرى في مجال الفيزياء النجمية في القرن العشرين .

إن الارصاد الاولى لهذه المادة بين الكواكب يعود تاريخها إلى مطلع القرن . ولكن هذه الوقائع كانت تصدم الافكار التي كانت سائدة ، وجرت وراءها تغيرات كبيرة في معرفة مجرتنا ، حتى انها احتاجت إلى ثلاثين سنة لكي تفرض نفسها .

السدائم المظلمة في المجرة - إن هذه الاكتشافات ترتبط ، كما هو الحال غالباً في علم الفلك ، بالتقدم التقني الكبير . وأول رصد من ي . بارنارد E. E. Barnard (1857-1923) الذي كشف عن سُدُم مظلمة تحمل اليوم اسمه . وقد دلت صور فوتوغرافية التقطت في كاليفورنيا ، في أواخر القرن التاسع عشر ، بواسطة شبيحة ذات قطر من عيار 15 سنتيم ، ان بعض الاقسام اللامعة في درب التبانة تتضمن مناطق سوداء ، خالية عملياً من النجوم . وكل شيء يمضي كما لو انه قد تم محو النجوم في بعض الاماكن . ولاحظ م . وولف ، سنة 1890 ، إن السديم الجميل البراق « اسيركا الشمالية » مقرون بنجوم مظلمة ، ولكنه لم يفهم طبيعة هذه الظاهرة . وتُمت متابعة هذه البحوث في جبل هاملتون ، وفي مرصد يركس ؛ ونشر بارنارد كاتالوجات متنوعة لسديم مظلمة . وأجر كاتالوج له نشر سنة 1927 بعد موته احتوى على 349 سديماً .

إن طبيعة هذه السديم لم تعد يومئذ موضع شك . انها غير مظلمة ، تشبه الغيوم في فضائنا ، وهي تحول دون رؤيتنا الكواكب الأبعد . والنظرية الأخرى ، انعدام وجود لنجوم فعلاً ، في

بعض ارجاء كوننا ، تؤدّي ، فعلاً ، إلى اعتبار هذه الفراغات ، كدهاليز مؤدية بالضبط إلى الراصد الارضي . ان هذا البناء ارضي المركز ، لكونه كان قليل الانتعاش حتى انه ليثير العجب ان نلاحظ كم عانى بعض الفلكيين ، ومنهم بارنار بالذات ، من أجل اتقبل هذا الوجود للغيوم المظلمة .

وقد أزيلت الشكوك الأخيرة بفضل الصور الفوتوغرافية للسدم الحلزونية التي حصلت سنة 1918 على يد هـ . د . كورتيس بواسطة العاكس كروملي في مرصد ليك . ان مشابهة هذه الكواكب لعالمنا المحلي كانت مقبولة عموماً ، وظهور الغيوم الكبرى العاصية التي تقطع الطريق على بعض من هذه الحلزونات ، أفهم ووضح الطبيعة الحقة « لغيوم بارنار » .

إن دراسة السدم الغازية قد انجزت تقدماً مهماً جداً . ان طبيعة سديم أوريون كانت معروفة منذ 1864 ؛ وأول طيف لهذا الكوكب بين ان الامر يتعلق بغاز لماع مضيء . ولكن ، في سنة 1912 ، بين و . م . سليفر Slipher ان السديمية التي تحيط بالثريات لها صفة أخرى ، وان ضوءها يمكن ان ينتج بسهولة عن انتشار جزئيات من أضواء الكواكب الاكثر بريقاً . ان نظرية هـ . ن . راسل (1877-1939) ، التي ثبتت بسرعة بفضل أ . ب . هوبل Hubble (1889-1953) بينت ان النجوم الاكثر حرارة ، من النمط الطيفي الاقل تقدماً من B3 ، كانت محاطة بسدم ذات بث ، وان الاقل حرارة محاطة بسدم ذات انتشار . وبالنسبة إلى الأولى ، يشير الاشعاع فوق البنفسجي في النجوم ، ذرات الفضاء المجاور ، وبالنسبة إلى الاخرى ، يكون الاشعاع ضعيفاً جداً ، وعندها يظهر الانتشار فقط . إن الغيوم المظلمة تبدو لنا عندئذ كسدم غير مضاءة . ان الحسابات الاكثر دقة ، حديثاً ، أكدت هذه الآراء في أدق تفاصيلها . وقبل عرض مختلف الفرضيات الصادرة حول طبيعة الجزئيات الماصة ، نذكر أولاً اكتشافاً آخر مهماً جرى في بداية هذا القرن .

الوسط ما بين النجوم - سنة 1904 أجرى ج . ف . هارتمان قياسات دقيقة جداً حول السرعة الشعاعية للنجمة أورينيوس (Orionis 8) التي ذكر تارجحها من قبل هـ . ويلاندر . فأكّد هارتمان انها نجمة مزدوجة مطيافية تترجم حركتها حول مركز الجاذبية ، بتغيرات في السرعة الشعاعية التي تتأرجح بين 65 - و 135 + كلم/ثانية ، مع خفية ذات 5,7525 يوماً . وكل الخطوط تتأرجح هكذا حول مواقعها المتوسطة ، الا الخط 3934 Å في الكالسيوم ، الذي يبقى جامداً ، والسرعة المقابلة تساوي 16 كلم/ثانية وشرح هارتمان حالاً هذا الخط الدقيق جداً بفعل الامتصاص في غيمة من الكالسيوم واقعة بين النجمة وبيننا . وذكر انه لوحظ سنة 1902 ، ان طيف نوكا التي ظهرت في فرساوس Persée ، يتضمن ، زيادة على خطوط البث العادية ، نفس هذا الخط الرفيع وخطاً آخر ، واقعاً حوالي الخط 3969 Å ، كانا يفصلان ويبرزان بوضوح .

هل ان هذا التقارب مع نجمة متفجرة ، ربما تصدر غمامة من المواد ، هو الذي جرّ الكثير من الفلكيين إلى الاعتقاد بأن هذه الغيمة مرتبطة بالنجمة ، وتحيطها بغشاء صغير ، أو هل ان هذا الخوف الذي يعتري العلماء من خشية التحديد هو السبب ؟ وهما يكن الامر ، كان لا بد من مرور ما يقارب من عشرين سنة حتى تتوضح الطبيعة بين النجوم ، الحقيقية لهذا الامتصاص . وأيضاً في سنة 1920 كان ر . ك . يونغ يدافع بشدة عن الطبيعة فوق النجومية لغيوم الكالسيوم ، وكان

يظنها مختصة بالنجوم المزدوجة الطيفية . في هذا الوقت ، في سنة 1919 اكتشفت الأنسة هيفر Heger الخطين بين النجوم للمصوديوم الواقمين في الحيز الأصفر . ولم تتوضّع هذه المسألة قبل 1920 ، عندما نجح أ . س . ادينتون (1882-1944) ، أثناء محاضرة القاها أمام الجمعية الملكية ، في تفصيل وتوضيح الارصاد ، وفي استخلاص الكثافة النووية المتوسطة للفضاء ، بذرات الكالسيوم ، وقد قدر هذه الكثافة بما يساوي 10^{-24} غرام في السنتيم³ .

ويفضل التلسكوبات القوية جداً المجهزة بمطاييف تشيتية اكتشف الفلكيون العديد من الخيوط الاخرى بين الكواكب ، وما هوها بذرات البوتاسيوم والتيتان المؤين والحديد الحيادي . ويضاف إلى هذه الذرات ويسرعة الجزيئات ، CH ، CN ، CH^+ التي اكتشف مك كيلار حوالي عشرة خطوط من خطوطها . إلى هذه اللاتحة يجب اضافة خطين لم يفسرا ، وثمانية شرائط غامضة من منشأ غير معروف . ان غالبية هذه الخطوط قد اكتشفت سنة 1937-1941 في جبل ولسون من قبل و . س . آدامس ودونهام . ان رقة الخطوط بين الكواكب التي تلفت كل الناظرين بالمقياس لم تخف على هارتمان . ان هذا المظهر وحده قد أتاح اليوم تحديد الخطوط بين النجوم عندما تظهر في الاطياف ذات الخطوط غير الواضحة . ان رقة الخطوط تُفسر بواسطة فيزياء الوسط بين النجوم . هذا الوسط بدا طويلاً كوسط متواصل إلى حين أتاحات أرصاد جرت بواسطة مقياس مسنود في جبل ولسون ، تحليل الخطوط بين النجوم ، بالنسبة إلى بعض النجوم ، إلى عدة مكونات : وكل واحد من هذه المكونات يتوافق مع غيمة تتقل بسرعتها الخاصة أثناء حركتها داخل المجرة ، ان مناقشة الملاحظات قد أتاحت لعلماء الفيزياء النجمية أن يكونوا فكرة واضحة عن هذا الوسط بين النجوم . ان الذرات تكون في أغلب الاحيان مؤيّنة ، ولكن الشحنات الايجابية يقابلها وجود الكترولونات في حين يكون الوسط حيادياً من الناحية الكهربائية .

وقد طرحت فرضية تقول بأن الامتصاص بين الكواكب يمكن أن يُفسر ببساطة بفعل انتشار الضوء بواسطة الذرات والجزيئات . ولكن هذا التفسير لا يتوافق مع العديد من الوقائع . ورغم ان الغيوم المظلمة قد بينت ان المادة الماصة ليست موزعة بشكل منسق ، فإن الفلكيين قد اضطروا في بادئ الامر ، ولعدم وجود ما هو أفضل ، إلى قياس الامتصاص ضمن فرضية التوزيع المنسق الموحد . وقد بينت الجداول - جداول السدائم خارج المجرات - ان ايأ من هذه النجوم غير موجودة بقرب سطح درب التبانة . وقد فسر نقاش دقيق هذه الواقعة بوجود طبقة ماصة سماكتها عدة مئات من الباريسكس ذات الامتصاص بحيث ان شعاعاً من الضوء مجتازاً لمجرتنا ، اجتيازاً عمودياً فوق سطحها ، إلى جوار الشمس ، يخسر 35% من طاقته . وقد قدم ر . ترامبلر (1886-1956) تقديراً دقيقاً للامتصاص ضمن مسافة محددة ، ونشر سنة 1930 دراسة مفيدة لكثل النجوم في مجرتنا . ولما كانت النجوم الاكثر بريقاً في الكتل ، من ذات الطبيعة ولها بالتالي نفس البريق الذاتي ، فإن قياس بريقها الظاهر يتيح حساب مسافتها وفقاً لقوانين الفوتومتريا . ان هذا الحساب حمل ترامبلر إلى الوصول لنتيجة غريبة : ان الكتل النجمية لها قطر تطول كلما بعدت المسافة . ولتفادي هذا الاستنتاج ، اضطر ترامبلر إلى الافتراض ان مسافتها هي غير صحيحة ، وإلى الافتراض بأنه يضاف إلى تدني البريق بسبب مربع المسافة ، يضاف امتصاص موحد ، على الأقل

على الصعيد الاحصائي . وكان المعدل المتوسط للامتصاص المقترح - يساوي 0,67 ضخامة في كل كيلو بارسيك - قد أتاح ازاحة الصعوبة . ان قيمته ، المؤكدة بكل القياسات اللاحقة ، قوية جداً : فخلال مسار طوله 1100 بارسيكس في الفضاء يفقد الشعاع الضوئي نصف طاقته .

ان الامتصاص الذي قاسه ترامبلر في حال الضوء الازرق ، يختلف باختلاف طول موجة الضوء المختار . ان نظرية الانتشار التي قال بها مي Mie والتي نشرت سنة 1908 بينت بأن قانون التغير يتعلق أساساً بقطر الجزيئات الماصة . وبالنسبة الى جزيئات كبيرة جداً يكون الامتصاص هو نفسه بالنسبة إلى كل الاشعاعات في حين ان تركيب الضوء لا يتغير . وبالنسبة إلى جزيئات صغيرة جداً مثل الذرات والجزيئات يكون انتشار الضوء اكثر أهمية في الازرق مما هو في الاحمر (تغير يساوي $1/\lambda^4$) والضوء الذي يجتاز الوسط الماص يصبح أكثر احمراراً . وفيما خص الجزيئات ذات القطر الوسيط يجب أن يكون الاحمرار أقل قوة ، ومعرفة قانون التغير يجب أن يتيح قياس قطر الجزيئات . هذه الاعتبارات تفسر لماذا تعلق العديد من الفلكيين في اثبات ثم في قياس هذا الاحمرار بين النجوم ، ان القياسات العديدة التي حققت بواسطة تقنيات أكثر فأكثر دقة ، تقنيات فوتوغرافية (د . شالونج ومساعديه) أو تقنيات تصوير كهربائية (ج . ستينس وآ . ي . ويتفورد) قد أتاحت التأكد من احمرار النجوم البعيدة ثم القول ان قانون التغير يكمن في $1/\lambda$.

ولتفسير هذه النتائج تخيل شالون Shalén جزيئات معدنية من الحديد . وحصل فيما خص قطرها على قيم تقع في حدود 0,1 ملم . ان الطبيعة المعدنية للكرويات الماصة ليست مقنعة والعديد من المنظرين وخاصة هـ . ك . فان دي هولست Van de Hulst ، أثبتوا ان حبيبات من الغبار العازل يمكن أن تفسر قانون الامتصاص الملحوظ . وفي كلتي الحالتين نجد كثافة للفضاء تعادل 10^{-26} غرام في السنتيم³ .

ان مسألة الامتصاص في الفضاء بين النجوم ما تزال معقدة بحكم ان ضوء بعض النجوم البعيدة ما يزال مكتشفاً بصورة جزئية .

من المعلوم ان الضوء هو شعاع كهرومغناطيسي ذو ذبذبات اعراضية . وبالنسبة إلى الضوء الطبيعي ان القيمة الوسط لاسقاط الذبذبة فوق اتجاهين متعامدين فيما بينهما ومتعامدين على الشعاع الضوئي ، هي واحدة ولكن الفلكيين الاميركيين و . آ . آ . هيلنر Hiltner وج . آ . هال قد لاحظوا كل على حدة ان بعض النجوم هي ذات كثافات استقطابية تعادل عدة وحدات في المئة . وعلى العموم ، ان الذبذبة المميزة الخاصة (السهم الكهربائي عند فريزل) ، توازي سطح المجرة . ومن المفيد ان نلاحظ أن هذا الاكتشاف غير المتوقع أبداً ، قد تم اثناء البحث عن الاستقطاب الذي استنتجه نظرياً سي . شندراسيكار ، بالنسبة إلى النجوم المزوجة ، بخلاف كسوف جزئي .

ان هذا المفعول الذي لم يتوضح بعد بشكل دقيق ، يبدو مرتبطاً بالامتصاص الانتقائي ، من قبل بلورات موجهة بفعل الحقل المغناطيسي العام المساند في مجرتنا .

ان الامتصاص بفعل الجزيئات الغيومية ، وعموماً بفعل الفضاء بين النجوم ، هو ظاهرة

مهمة جداً وقد أدى تجاهله بالفلكيين في بداية القرن إلى تجاهل ابعاد مجرتنا . وهذه الظاهرة بالذات تمنعنا اليوم من معرفتها معرفة تامة . ولحسن الحظ ان اشعاعات المجال الهرتزي هي أقل تعرضاً للامتصاص وهي تتيح لنا استكمال معلوماتنا في المجالات التي لا توجد فيها طرق ابصارية .

XI - السدائم خارج المجرة

الاكوان الجزر - في بداية هذا القرن كان الفلكيون يعرفون العديد العديد من السدائم وقد وضع ج . ل . أ . دراير (Dreyer 1852-1926) في سنة 1888 ، الكاتالوغ العام الجديد ، للسدم وللكتل النجمية (ن . ج . ل .) . ومع اللاتحتين الاضافيتين اللتين نشرتا سنة 1895 و 1908 فقد صنف ما يقارب من 15 ألف سديماً وكنتة . ومن بين السدم ، لا بد من التمييز بين السدم ذات الطيف المنبث ، وهي سدم زرقاء جداً على العموم ، والسدم البيضاء ، وهو تمييز سهل . والاولى أمكن تفسيرها باعتبارها سدائم غازية ، ولكن طبيعة السدائم البيضاء ، بأشكالها الغريبة الحلزونية والابرية ، ظلت لغزاً . ان فلاسفة العصور الماضية قد وضعوا جيداً فرضية تقول ان هذه الكواكب كانت « أكواناً - جزراً » حقيقية مشكلة من آلاف النجوم وتشبه درب التبانة المعروف . ولكن الامر يتعلق هنا بافتراضات خالصة غير مثبتة وغير مرتكزة على وقائع علمية .

في سنة 1925 اضطر معظم الفلكيين إلى الافتراض بأن هذه السدائم هي انظمة مُشابهة لمجرتنا ولكن هذه النتيجة لم تحصل دون منازعات كانت حادة في أغلب الاحيان .

وهناك عدد من التلسكوبات الكبرى قد شغلت في بداية هذه القرن ودشن تلسكوب كروسلي سنة 1908 في مرصد ليك Lick فوق جبل هاملتون ثم دخلت في الخدمة في جبل ولسون : تلسكوب من عيار 1.52 متراً سنة 1908 ، وتلسكوب آخر من عيار 2.54 سنة 1918 . ان هذه الآلات الجميلة قد أعطت محصولاً خصباً من الوقائع الجديدة التي أتاحت حل هذه المسألة .

وكشف الصور الفوتوغرافية الحاصلة في ليك وفي جبل ولسون عن بنية حلزونية للعديد من السدائم ، وكذلك عن الغيوم الماصة التي تتميز بها السدائم المستطيلة .

ان هذه الكليشيات يَبْت أيضاً تمددها الذي لا حصر له . وإذا كان أ . آ . فاث E. A. Fath يقلر ، في سنة 1917 عدد السدائم التي يمكننا تصويرها بـ 160000 فإن هـ . د . كورتيس رفع العدد إلى مليون ثم شرح نتاجه الأكبر بفضل حسن نوعية آتته . لقد أعلن هذا الفلكي أيضاً انه لا وجود لفرق في الطبيعة بين الحلزونيات الكبرى مثل سديم اندروميد ، والسدائم الصغيرة البيضاء التي لا يبلغ قطرها 12" . ان الفرق بين المسافات يكفي لتضخيم قُطرها ومظاهرها المتنوعة .

وبعيد سنة 1912 تم الحصول على الاطياف الاولى للسدائم خارج المجرات ، وإذا كان البعض قد استنتجوا بأن هذه الاطياف كانت متشابهة مع الطيف الذي تعطيه كتلة من النجوم مماثلة للشمس ، فإن آخرين أشاروا إلى نقص التعارض بين هذه الاطياف وقالوا أن الكثير منها كانت تظهر في بعض الاماكن خطوط الهيدروجين المَبْشُوتة . وكان من المستحيل التبيين يقيناً بأن

هذه السدائم البيضاء كانت كتلاً من النجوم . وظلت كل محاولات الحل بواسطة تصوير الاجزاء المركزية فوتوغرافياً بدون جدوى ؛ ان الاقسام الخارجية في الاذرع كانت تتفكك وتتحول إلى ضمم فسرهما بعض الفلكيين بأنها نجوم في حين رأى فيها آخرون ضمماً من مادة سديمية . الا ان هذه الاعمال قد اتاحت بنشر سلسلة من الصور الفوتوغرافية الجميلة .

في هذه الاثناء ، وفي سنة 1917 اعلن ج . و . ريتشي ان كليشه حديثة للسديم ن . ج . ك . 6946 أظهرت نجمة جديدة . هذا الكوكب غير المرئي فوق الكليشيات السابقة ، غاب من جديد فيما بعد . وقد أثار هذا الاكتشاف ضجة ، وعمد الفلكيون الذي يمتلكون كليشيات قديمة للسدائم بتفحصها من جديد وبناية . واستطاع هـ . د . كورتيس العثور على ثلاثة نجوم جديدة من العيار 14 درجة وظهرت واحدة في سنة 1915 في ن . ج . ك 4527 وظهرت نجمتان سنة 1901 و 1914 في ن . ج . ك 4321 . ويضاف الى هذه اللائحة س . اندروميديا التي ظهرت في السديم الأكبر سنة 1885 ويضاف أيضاً لهذه اللائحة ز . ستوري التي رصدت سنة 1895 من قبل فلامينغ قرب مركز ن . ج . ك 5253 وكان لهاتين النجمتين في ذروتها الضخامة 7 .

وظن كورتيس ان هذه النجوم تشبه المستجندات المجرية واستنتج من مقارنة البريق ان السدائم البيضاء يجب أن تكون أكوأناً جزراً شبيهة بنظامنا الخاص . وحفزت هذه النجاحات العديد من الرصد فاكشفوا في السديم اندروميد ثلاثة نجوم جديدة كانت ضخامتها قريبة من 17 في ذروتها ، وناقش هـ . شابلي بدوره هذه النتائج واستنتج انه اذا كانت النجوم الجديدة في اندروميد تشبه تماماً المستجندات الست والعشرين المعروفة يومئذ في مجرتنا ، فإن المسافة في اندروميد هي من مرتبة مليون سنة ضوئية ، كما ذكر ذلك أيضاً هـ . د . كورتيس . ولكن هذه النتيجة بدت غير مقبولة لدى شابلي ومن بين السببين الرئيسيين الذين أدلى بهما ، كان الاول يقول : بأن س . اندروميد يجب ان يلمع ببريق عجيب مثل مئة مليون شمس ، وهي فرضية بدت له غير مقبولة . والبرهان الآخر كان أقوى . فقد خطر لفلكي في مرصد ولسون هو « فان مانيان » Van (1884-1946) Maanen وهو متخصص بالحركات النجمية الذاتية ، ان يقارن بين كليشيات قديمة وحديثة أدخلت للحلزونية الجميلة م . 101 التي تقع في برج الدب الأكبر (ثلاثة كليشيات اخذت سنة 1899 ، 1908 و 1914 ، بواسطة العاكس كروسلبي ، وكليشيات اخذتا سنة 1910 و 1915 بواسطة تلسكوب من عيار 1.50 م في جبل ولسون) .

واستنتج من هذه المقارنة حركات ظاهرية لمختلف التكثفات في اذرع السديم . ان قياساته المتجانسة والتي نشرها تفصيلاً دلت على وجود تنقل في المجموع أو المجمعل من عيار 0,01 ثانية في السنة . إلى هذا الانتقال يضاف تمدد خفيف ، وأيضاً دوران في المجمعل في الاتجاه المعاكس لدوران عقارب الساعة ، ومدته 85 ألف سنة . وعند مسافة 45 دقيقة من المركز كانت الحركات الثانوية المرصودة تساوي 0,022 ثانية . ان هذه النتائج لم تكن تتلام إطلاقاً مع مسافة مليون سنة ضوئية ، لأن الحركات الظاهرة المرصودة كانت تتطابق مع سرعات خطية تقارب سرعة الضوء .

واستنتج شابلي من هذه النتائج التي حصل عليها فان مانيان ان نظام مسيه 101 يجب أن

يكون اصغر بأربع مئة مرة من مجرتنا ، وانه يقع على بعد 32 ألف سنة ضوئية . وفي هذه المسافة يجب ان تكون النجوم المماثلة لنجوم مجرتنا ، سهلة الرصد . وبما انه لم يعثر على شيء منها استنتج شابلي بأن السدائم البيضاء كانت فعلاً منتشرة وان سرعة ضمايم المادة كانت من عيار ألف كيلومتر في الثانية . ودام هذا الجدل . وفي سنة 1919 دخل ثالث في النزاع ، انه السويدي ك . لوندمارك الذي كان يقيم يومئذ في الولايات المتحدة ، وعاد إلى مناقشة مسألة سديم اندروميد مستخدماً الاكتشاف الجديد لـ 32 مستحدثة اضافية في هذه الحلزونية وبين انه اذا استبعدنا س . آند ، فان مجمل الارصاد يبدو متجانساً ويتيح عن طريق المقارنة مع المستحدثات المجرية ، تحديد - بالنسبة إلى سديم اندروميد - مسافة من 650 ألف سنة يعادل بريقها برين مئة ألف مستحدثة عادية .

وتم الوصول إلى الطريق المسدود ، لأن فان مانين كان في هذا الوقت قد وسع نتائجه فأشملها سبعة سدائم واستطاع لوندمارك الحصول على اطياف تفصيلية للسديم م 33 من المثلث ، وبين انه إلى جانب السدائم الغازية المتميزة ، توجد أشياء لها نفس الاطياف التي للنجوم وماهى هذه التفصيلات مع النجوم الأكثر إضاءة في مجرتنا . وهذا ما أتاح له ان يغطي لـ م . 33 مسافة مليون سنة ضوئية . وهذا الحل القاسي بتحويل الأقسام الخارجية من السدائم البراقة إلى نجوم ناقشه خصوم الجزر .

وعاود لوندمارك من جهته قياس كليشهات م 101 التي أتاحت لفان مانين ان يعثر على الحركات الكبرى الخاصة . ورغم انه استعمل نفس الآلات للقياس فإنه لم يجد نفس النتائج فاستنتج عدم وجود الحركات الخاصة .

وكان لا بد من أرصاد ثابتة لترجيح رأي هـ . د . كورتيس وك . لوندمارك نهائياً . ان أ . ب . هويل (1889-1953) هو الذي أعلن هذا الاكتشاف بكتاب أرسله في أواخر كانون الأول سنة 1924 إلى مؤتمر الجمعية الفلكية الاميركية .

وأعلن عن رصد وعن دراسة دقيقة لمنحنيات الضوء الصادر عن 22 نجمة متغيرة في م . 33 ، وعن 12 نجمة في م . 31 . ان هذه النجوم كانت من غير شك سيفيديات تشبه السيفيديات التي اكتشفت سنة 1910 من قبل الأنسة هـ . س . ليفيت في غيوم ماجلان . ان مظهر منحنيات الضوء لم يترك أي شك . وبين أن الحقب تتغير مع البريق كما هو الحال بالنسبة إلى سيفيديات مجرتنا ، وأعطت « العلاقة بين الحقة والضوئية » التي قاسها حديثاً شابلي للسديمين مسافة تساوي 285 ألف بارسكس واستنتج هويل : ان اعظم الشك ربما يدور حول موقع الصفر من منحني شابلي . ان هذه النتائج الموضحة والتي تشمل سدائم أخرى قد نشرت في السنوات التالية في استرو فيزيكل جورنال . وهذا الانجاز المدهش لم يتحقق الا بفضل التلسكوب الفخم من عيار 2,50 م في جبل ولسون . وأفضل النقاش : فقد بين كيف وكم يجب أن يكون الباحث حذراً من « الحس السليم » الذي لم يسمح بافتراض وجود بريق للمستحدثات العملاقة ، وبين أيضاً كل ضرر قد ينتج عن القياسات الخاطئة .

وكرس أ. هوبل وقتاً كبيراً للدراسة السدائم خارج المجرة . وتصنيفه لهذه الكواكب منذاً لاشكالها (1926) قد اعتمد بشكل عام . وتتميز السدائم البيضاء التي ليس لها بنية ظاهرة عن الحلزونيات التي تنقسم إلى طبقتين بحسب ما إذا كانت اذرع الحلزونيات ، خارجة مباشرة من النواة (النمط م) أو أنها تنطلق من جذع (س . ب) . وبحسب أهمية الانزع يضاف إلى الرمزين م . وس . ب الاحرف الصغيرة أ . ب . ت وتوجد أيضاً بعض السدائم غير المنتظمة التي لا يمكن تصنيفها .

ويخلال السنوات التالية جرت دراسات عديدة تفصيلية بواسطة تلسكوبات من عيار 2,50 م في جبل ولسون ومن عيار 5 في جبل بالومار . وأتاحت القياسات الفوتومترية تقدير عدد النجوم في هذه السدائم بمئات المليارات . ان قياس السرعات الشعاعية في مختلف نقاط السدائم قد أتاح معرفة كتلة الحلزونيات وثبت عدد نجومها وهناك مسائلان أثارتا الكثير من المصاعب أحدهما هو اتجاه الدوران في الحلزونيات ، وبدت هذه المسألة الآن محلولة : فالأذرع تلتف حول النواة كما يلتف الخيط حول البكرة . ولكن أولية تشكل الأذرع الحلزونية بقيت غامضة ، رغم العديد من البحوث ومنها اعمال ب . لنديلا .

اتساع الكون - ان أول قياس للسرعة الشعاعية لسديم ما قد جرى في ايلول سنة 1912 من قبل و . م . سليفر بالنسبة إلى السديم أندروميد حيث وجد أن سرعته الاقترابية هي 300 كلم في الثانية . ان مثل هذه القياسات شديدة الصعوبة بسبب قلة اللمعان الذاتي في السدائم خارج المجرات ، ولم يكن بالإمكان توسيع اللاتحة الا عندما تيسر للفلكيين استعمال مطاييف أكثر ضوءاً ، وشيحات فوتوغرافية خاصة شديدة الفتحة . وفي سنة 1929 تمت معرفة 46 سرعة شعاعية : فقد لفت الفلكيون بضخامة قيمها الإيجابية ، انما صعب عليهم في بادئ الأمر تفسيرها .

وفي كانون الثاني 1929 وبعد نقاش واع نجح أ. هوبل في تنظيم هذه المعطيات .

وقد حدد هذا الفلكي مسافات أربعة وعشرين من هذه السدم وبين ان كل شيء يجري كما لو كان المفعولان التاليان بتر اكمان :

1- ان الراصد المرتبط بمجرتنا يتنقل بسرعة 280 كلم في الثانية نحو نقطة صعودها المستقيم
هر 18 س و 30 دقيقة وفيها 36 درجة (برج لالير la Lyre) .

2- إلى هذه الحركة تضاف بالنسبة إلى كل سديم ، سرعة شعاعية ايجابية تتناسب مع المسافة ، وثابتة النسبة هي 500 كلم ثانية في كل مليون بارسكس (ثابتة هوبل ، قيمة الحقبة) . وفي لائحة السدائم التي استعملت في هذه الدراسة يقع سديم يمتلك سرعة شعاعية من 1090 كلم في الثانية ؛ واحدى السرعات الأربع والأربعين التي قامها سليفير تبلغ 1800 كلم ثانية .

وكان من الطبيعي جداً أن يقترح هويل قانونه لتحديد مسافات السدائم . وقد اقترن نشر قانون هويل بمذكرة صدرت عن م . هوماسون الذي أعلن قيمة 3779 كلم/ثانية (كتلة الأسد)، وفي سنة 1960 تم تجاوز 100000 كلم في الثانية أي ثلث سرعة الضوء . ان أهمية هذه الاكتشافات

وتأثيرها على البحوث الفلكية سوف يشار إليها فيما بعد (راجع في الشأن دراسة ب . كودير في نهاية الفصل) .

وانتظر فلكيو جبل ولسون بفارغ الصبر تشغيل تلسكوب من عيار 5 م في جبل بالومار لمعالجة المسائل التي تتجاوز مكنات تلسكوب 2,50 متر . وقد تأخر استخدام التلسكوب الجديد بفعل الحرب العالمية الثانية ، فعمد و . باد Baade بالوسائل المتاحة إلى حل التواء والمرافقات البضاوية في سديم اندروميد . وظن ان هذا الامر ممكن شرط امتجماع الشروط التالية : ليل هادئ ، ومرة متوازنة الحرارة ، ورصد في الضوء الاحمر من اجل تحديد الاضطراب الفضائي والانتشار الفوتوغرافي . وكان النجاح كاملا ، وتعتبر الكليشيات الحاصلة من أجمل المستندات في كل علم الفلك .

ومنذ وضع تلسكوب هال الفخم ذي الخمسة أمتار موضع العمل تحت اشراف ي . س . بوين سنة 1949 ، باشر و . باد في معالجة مسألة أخرى انبثقت عن اكتشافه للمجموعات النجمية وهي : اكتشاف النجوم من « المجموعة II » في سديم اندروميد ، وخاصة المتغيرات من نمط ر . ر . ليرا . ان ضخامتها المطلقة القريبة من الصفر كانت معروفة ، ومسافة سديم اندروميد أتاحت وضعها في الضخامة 23 . ان نجوماً لها هذا البريق يجب أن تكون تماماً في متناول تلسكوب جبل بالومار . لكن باد كان عاجزاً عن العثور عليها . وبالمقابل ، عشر في حدود 22.5 على العلاقات الحمراء في « المجموعة II » . وسنداً للدراسات التي اجريت على الكتل الكروية تميز هذه النجوم بضخامة تزيد بما يقارب 1.5 على ضخامة نجوم ر . ر . ليرا . وكان لا بد من انتظار هذه النجوم الأخيرة ذات الضخامة 24 . ولا يمكن تفسير هذه النتيجة الا بمسافة خاطئة في سديم اندروميد . وقد تحدت هذه المسافة عن طريق العلاقة بين الحقبة والاضاءة في السيفيديات . وكان لا بد من افتراض ان الصفر في هذه العلاقة واقع في غير محله . ان كل النتائج وخاصة اكتشاف ر . ر . ليرا في غيوم ماجلان قد اثبتت هذا الاكتشاف .

نذكر بالكلام التكهني الذي قاله هوبل . ثم ان ه . مينور Mineur تنبأ هو أيضاً سنة 1944 بهذا التصحيح . ان القيمة النهائية للتصحيح لم تقرر بعد بدقة . ولكنها من عيار $1.5 +$ مما يعني ضرب البريق في السيفيديات بأربعة واثنتين مسافات السدائم خارج المجرات . ان ثابتة هوبل تقسم على 2 وتصبح 290 كلم في الثانية في كل ميغابارسك (1952) . هذه المراجعة لجدول المسافات معقدة بكون سلم الضخامة غير مؤمن بعد بالنسبة إلى النجوم الضعيفة . وقد اقترحت تصحيحات أخرى ويبقى النقاش قائماً (راجع بهذا الشأن دراسة ب . كودير نهاية الفصل ، الفقرة XIV) .

وتعطي الدراسة للمصادر الضوئية خارج المجرات ، والمحدثة بواسطة لاقطات ذات مساحة كبيرة ، أمالا كبرى . ان قوة التسرب أو الولوج في الراديو سكوب ربما كانت أعلى من قوة التلسكوب الفوتوغرافي (الفقرة XV من الفصل 2 دراسة ج . ف . دنيس) .

نلاحظ ان هذا التحليل للنتائج الحاصلة بخلال الخمسين سنة الأخيرة في دراسة السدائم

خارج المجرة يكشف عن تفوق مشهود للفلكيين الأميركيين الذين استطاعوا ان ينشئوا اكبر المراصد في العالم وان ينشطوها .

XII - الفيزياء النجمية النظرية أو الاستر وفيزياء النظرية

1 - وصف فيزياء النجوم

إن الرصد يقتضي دائماً عملاً تحليلياً ، فمسألة الارصاد تقتضي عموماً التوليف أو التركيب . هذا التحويل في المعطيات الخام إلى لغة من طبيعة أخرى ، والفهم بفضل قوانين الفيزياء لهذه اللغة ، هذا ما يسمى « بالنظرية » ، وبهذا المعنى الواسع جداً تنتمي الفيتاغورية والمحاولات التجريبية الصينية وكذلك بحوث كبلر إلى النظرية . وما نسميه اليوم بالفيزياء « النظرية النجمية » قلما يكون له معنى أكثر محدودية : ان الامر يقتضي وصف - بعبارة الكمية الفيزيائية (درجات الحرارة ، التبادل ، الحركات ، الحقول المغناطيسية ...) - مناطق النجم ، والكواكب ، والوسط بين النجوم ... من حيث تأتي الاشعاعات المرصودة . ويقتضي الامر أيضاً وصف الحركات الظاهرة للكواكب في اللغة ذات الابعاد الثلاثة الواضحة ، حول تطور الكون ، واشياء فردية تؤلف هذا الكون ضمن اطار نظرية فيزيائية موحدة (ولكن الفيزياء الحالية ليست إلا تقريباً أولياً كما هو الحال في قانون الجاذبية الكونية النيوتونية التي ليست إلا حالة خاصة بسيطة من حالات قانون الجذب الذي قال به انشتين) . من هذا الجهد في الوصف وفي الفهم ، يقتضي الامر اجمالاً استخراج القوانين التي تحكم التوازن والتطور والسلوك في الاشياء المدروسة .

إن طرق الفيزياء النجمية - النظرية - منذ قرن تقريباً قد تغيرت كثيراً ، وكلما تضخمت معرفتنا بالعامل الفيزيائي أصبحت هي بداتها معقدة بشكل متزايد .

إن هذه الطرق تقتضي بالطبع تطبيق نظريات فيزيائية حول المطيافية ، كما تقتضي تأثيرات متبادلة بين المادة والضموء . وهي تستدعي أيضاً الاستعانة بالادوات الرياضية المعقدة ، وبالوسائل الحسابية العددية القوية ، وبشكل متزايد . وبالفعل ، وبخلال هذه السنوات انتقلت النظريات التحليلية أو التركيبية ، بصورة تدريجية ، من المستوى النوعي ، إلى مستوى كمي دقيق وبالغ . وأصبح عدد الأرقام المؤلفة للمعطيات أكبر فأكبر . وقبل محاولة تحديد خطوط الفكر التي تطورت ، حتى بلوغ « الفيزياء النجمية الجديدة » التي أخذت تظهر الآن ، يجب ان نشير بوضوح إلى أنه لا توجد فيزياء نجمية نظرية بدون أرصاد فلكية كما انه لا توجد معطيات ونظريات فيزيائية بدونها أيضاً . ان الفيزياء النجمية النظرية هي جملة من الطرق ؛ ولكن الفيزياء النجمية العامة لها هدف واحد : معرفة وفهم الكون ضمن اطار قوانين الفيزياء .

نظرية الكرات الغازية - التوازن الحراري (1860-1910) - في سنة 1869 وفي مقال شهير طرح ج . هومر أولاً مسألة معرفة درجة حرارة الشمس ، والاضغوطات في المناطق السطحية منها . وانطلاقاً من قياسات معروفة يومئذ عن الشبوتية الشمسية ومن قوانين تجريبية متعلقة باشعاعات الأجسام الحارة ، المحددة القيمة ، كيفما اتفق (ان قانون ستيفان يعود تاريخه إلى سنة 1879 فقط) ،

حصل على حرارة $T_0 = 30\,000$ درجة كلفن . ولكن الوسيلة الوحيدة التي اتاحت يومئذ للين Lane ، كي يعرف الكثافة السطحية هي « ان يبنى نموذجاً » للشمس : ودرس توازن غاز كامل موزع وفقاً لشكل كروي ضمن حقله الانجذابي الخاص ، مع الافتراض بوجود توازن حراري (فكل الطاقة منقولة بفعل حركات خلط ومزج) ، أي وجود علاقة عارية من التبادل الحراري بين الضغط ودرجة الحرارة والكثافة ، واستطاع أن يحسب (بالنسبة إلى القيمة $\gamma = \frac{5}{3}$ للنسبة بين الحرارة الذاتية ، المناسبة مع الغاز الوحيد الذرة) التغير $p(r)$ و $T(r)$. وأوقف نموذجه عند $T = T_0$ ، وهي قيمة اعطته : $p = 0,00036$.

هذه المقالة المنشورة ، والمناقشات التي اجراها لين مع سيمون نيوكومب ولورد كلفن كان لها وقع محفز ضخم . وخلال العقود التالية ، تم درس التوازن في الكرات الغازية بشكل أكثر عمقاً من قبل آ . ريتز ، الذي وضع فعلاً أسس النظرية الرياضية للبنية النجمية عبر سلسلة من المقالات نشرت بين 1878 و 1883 . وفيها نجد خاصة بيان القواعد التكاملية المتعلقة بالشروط الفيزيائية داخل مركز النجوم . وهي قواعد تثبت ان درجة الحرارة والضغط هما « على الأقل متساويان » مع بعض القيم المرتفعة جداً ، تبعاً للكتلة ولشعاع النجم . ان طرق وأفكار ريتز وخلفائه الآخرين انتهت في كتاب شهير وضعه ر . امدين ، تحت عنوان « الكرات الغازية » الذي نشر سنة 1907 والذي يشكل تجسيدا لجهد ضخم في صياغة رياضية . هذا البناء وما فيه من نماذج متساقطة ، وما فيه من مجازات ، هو ذو محتوى فيزيائي محدد نوعاً ما . منذ 1862 اقترح لورد كلفن ، أولاً فكرة فيزيائية اعتبرت مفتاحاً لهذه الاعمال ، وهي فكرة « التوازن الحراري » ، ولكن دون مناقشة فعلية طوّق هذه الفكرة في حالة الكتل الكروية ، ومثله فعل لين وخلفاؤه .

التوازن الاشعاعي . بحوث ل . شوارتزشيلد (1900-1910) - انه من الفرضية المعاكسة ، فرضية التوازن « الاشعاعي » (كل الطاقة تنتقل بفعل الاشعاع ، من طبقة إلى طبقة في النجم) قد انطلقت البحوث حول توزيع الحرارة في الفضاءات أي في القشرات المسؤولة عن الاشعاع المرصود أو المنظور .

ورصد الظلام في صحن الشمس أتاح لشومستر Schuster ، منذ سنة 1902 ، ان يبين ان تصوير الفضاء - كما فعل لين - بواسطة درجة الحرارة وبواسطة الضغط لم يعد صحيحاً . وكان لا بد من نموذج للفضاء .

إن وجود قوانين بلانك وكيرشوف قد أتاح لـ ك . شوارتزشيلد ان يستفيد من أفكار شومستر . وانطلاقاً من فرضية التوازن الاشعاعي أي حفظ دفع الشعاع في الفضاء ، حل مسألة تحول الاشعاع وبنى نماذج فضائية (1906) ، في حالة يتحقق فيها التوازن الحراري الديناميكي المحلي (قانون كيرشوف محقق ومثبت) . تضمن المقال الاساسي الذي وضعه شوارتزشيلد ، فضلاً حول الموضوع ، وبشكل نواة العديد من مظاهر نظرية الفضاء النجمي : وخاصة دور الجذب الارضي ، ووجود مناطق حرارية ، التي تبدو بوضوح وبيان .

ومن المستحسن الإشارة إلى الصفة الثورية جداً في بحوث شوارتزشيلد : في سنة 1913 قام

باحثون مثل آ. فولر - وآخرون غيره - فافترضوا أيضاً وجود سطح منير في الشمس غائم ومشتت : ومع ذلك فإن درجات الحرارة المرتفعة في الشمس وفي النجوم توجب - مسبقاً - حتى يومئذ استبعاد كل فرضية لا تقول بالفضاء الغازي الكامل فيها .

المسائل الكلاسيكية حول النقل (1920-1940) - يخلال السنوات التالية قدم تطور الفيزياء أسلحة لعلماء الفيزياء النجومية . من ذلك وعلى التوالي : في سنة 1905 ، مذكرات انشتين حول النسبية وخاصة حول الاثر الضوئي الكهربائي ، وفي سنة 1913 ، نظرية الذرة لبوهر ؛ وفي سنة 1920-1921 ، نظرية التأين لمغ نادسها ؛ وفي سنة 1925 ، الميكانيك التذبذبي ؛ الخ . ان الخصائص المحلية للمادة وتفاعلها مع حقل الاشعاع اصبحت معروفة تماماً بحيث أصبح من الممكن أن يتيح الحل الدقيق لمعادلات تحول الاشعاع اجراء مقارنة مع التجربة .

وبالتأكيد ان الاهتمام انصب يومئذ على الطيف المستمر فقط : ان تشكل الخطوط ما يزال يعتبر مشكلة معقدة . وبخلال الحقبة من سنة 1920 الى 1950 تركزت البحوث على حل مسألة النقل ضمن الطيف المستمر ، في حالة التوازن الاشعاعي ، المفترض نموذجياً في الفضاءات النجمية .

منذ 1920 انتقل باحثون مثل لنديلا Lindblad ثم لوندبلاد Lundblad (1923) وبمعهما بكثير شالونج وكورغانوف وباربي وشاندرا سيكار ومونخ ، الخ ، من رسومات كلف صحن الشمس ، إلى « نماذج عملية تجريبية » عثروا عليها ، إلى دقة التحديدات داخل التوازن الاشعاعي .

في هذه الأثناء كان ميلن وادنغتون ، ثم العديد من الفيزيائيين النجوميين (امثال هوف وبانيكوك ووروسلاند وآنسولد وشندرا سيكار وأمبرسوميان وسترومغرين وكورغانوف) يعمقون الدراسة الرياضية لمعادلات التحويل ، متدرجين بانتظام من حل الحالة الرمادية (ان معامل الامتصاص لا يتعلق بطول الموجة) إلى حل الحالة غير الرمادية ، الأكثر واقعية . واقترح بعض المؤلفين رد الحالة غير الرمادية إلى الحالة الرمادية بفضل حساب « معامل امتصاص وسطي » : ان المتوسط الذي وضعه روسلاند سنة 1924 يقدم نموذجاً جيداً في الطبقات العميقة ، أما متوسطات شندرا سيكار (1948) أو سترومغرين فهي أكثر استجابة في الطبقات العليا . ولكن في الوقت الراهن (1961) ، رغم النجاح المحدود في مختلف طرق حل الحالة غير الرمادية يمكن اعتبار هذه المسألة محلولة حلّاً سيئاً . والتقدم يأتي في الوقت الحاضر من نظرية انتشار الترنونات التي تشابه معادلاتها شكلياً مع معادلات تحول الاشعاع : الا ان تعليمات هذه النظرية محدودة بالفرق الكبير بين الشروط ، وبالحدود التي تتدخل في هاتين المسألتين . ان فكرة الوظيفة - المصدر للاشعاع هي أفضل تعريفاً ؛ ودور التوازن الحراري الديناميكي المحلي أفضل توضيحاً . وطبق شندرا سيكار وسوبوليف وكثير غيرهما على حالات رمادية معقدة الطرق المطبقة في الحالة الرمادية الضيقة التي حددها ميلن Milne . ان هذه الاعمال ، التي تتطلب مهارة رياضية كبيرة ، رغم انها لم تقدم أية فكرة أساسية جديدة ، لها تطبيقات تتجاوز بوضوح اطار النجوم ، وبصورة خاصة في دراسة الفضاءات النجمية . وتجب الإشارة أيضاً إلى التقدم (الذي يؤدي كل مرة إلى تطبيقات عملية

جديدة لطرق جديدة ، وإلى مقارنات جديدة مع الواقع) ، في معرفة اللامشفافية المستمرة : وهكذا تم لعب دور أساسي في الفيزياء النجمية ، بفضل اكتشاف الايون الغزير جدا H^- من قبل وبلدت Wüldt سنة 1938 . ومن الممكن أن يستعين سلوك الطيف النجمي فوق البنفسجي المكتشف بفضل التجارب في الصواريخ ، بمص جديد قد تحدث أهميته في تفسير الاطياف ، ثورة تشبه الثورة التي أحدثها في السابق اكتشاف الايون السلي الهيدروجيني .

تشكل أطياف الخطوط (1920-1950) - في هذه الاثناء ، ويفضل نظريات التوازن الاشعاعي وقياسات الطيف المستمر ، اخذت ترتسم نظرية للنمط الطيفي حقة ، وتتابع البحوث المتعلقة بتأويل طيف الخطوط .

ان اكتشاف ساهو Saha قد اتاح ربط مظاهر اطياف الخطوط بالحرارة ، من طرف إلى طرف آخر في السلسلة الطيفية . وأدى هذا الاكتشاف إلى معرفة هومة - أصبحت اليوم معروفة تماماً - عدد كبير من الخطوط الطيفية : خطوط الهليوم الحيادي والمؤين ، في الشمس وفي النجوم الحارة ، وخطوط النيبيولوم التي اكتشفها كروز ويون باعتبارها ناتجة عن الاوكسجين وعن الأزوت المؤيين ، وخطوط الكورونيوم المعروفة سنة 1942 من قبل أدلين Edlén باعتبارها ناشئة عن معادن مؤينة عدداً كبيراً من المرات . وبذات الوقت ، توضحت مسألة درجة حرارة الفضاءات . ان سلم درجات الحرارة النجمية انطلاقاً من الخطوط (آ : فولر Fowler ، ميلن ، 1923-1924) جاء يكمل نظرية النمط الطيفي المثبتة عن الطيف المستمر ؛ وقد قارب راسل وك . پاين مسألة تحديد الغزارات (1925) ، وقارب راسل وبانيكوك (1929) موضوع الثقيل النوعي في فضاءات العلاقات . وبخلال السنوات التالية اخذت تتوضح كدرجياً أوالية توسيع الخطوط . واستخلص كتاب انسولد Unsold (1938) التقدم الحاصل .

إن هذه المسائل ما زالت تتطور : والمسائل الفيزيائية المطروحة حول تفاعل الذرات مع الايونات والالكترونات (مفعول ستارك) ما تزال بعيدة عن الحل . في سنة 1963 ، بُعث من جديد اهتمام الفيزيائيين بمسائل الاصطدامات الذرية المطروحة في الفيزياء النجمية : ويجب توقع حقبة كبيرة من الخصب بالنسبة إلى النظرية الفيزيائية النجمية ، لاطياف الخطوط .

بالطبع ، وبأن واحد ، أصبحت دراسة تحول الاشعاع في الخطوط الطيفية أكثر فأكثر تعقيداً : ان الترسيمات المؤقتة التي وضعها ميلن واديغتون أو شوستر وشوارتزشيلد افسحت المجال أمام نماذج « موزعة » بشكل واقعي (انسولد ، 1931 ؛ مينارت ، 1932) . ان استخدام منحنيات النمو (مينارت ، 1923-1931 ؛ راسل ، 1925-1928) اخذ يثبت تدريجياً بشكل كامل (بيكر ، 1951) .

وأخيراً تم تحليل العديد من الحالات الخاصة : مثل النجوم في حالة الدوران السريع ، الفضاءات الممتعة ، الخ . مما اعطى بالتالي عناصر النظرية حول التطور النجمي .

إن الحقبة التالية (بعد 1950 ، اختصاراً) التي سوف نعود إليها ، تميزت يومئذ ، من جهة

باستعمال طرق حساب قوية جداً ، نتيج الاستفادة تماماً من وضوح معطيات الرصد ، ومن جهة أخرى ، وبالتالي ، اثبات التعقيد الفيزيائي للمسائل : بعد الاضطرار إلى رفض التبسيط المسرف للمسألة الرياضية المتعلقة بالتحويل ، كان لا بد من رفض التبسيط المماثل للطبيعة الفيزيائية للفضاءات : فالتوازن الاشعاعي ، والتوازن المائي الثبوتي (هيدروستاتيك) ، والتوازن الحراري الحركي (ترموديناميك) المجلي ، ليست لا تقريبات أولية . فضلاً عن ذلك ان الكواكب ليست تصاوير كروية : ويجب اعتبار وجود مفارقات وحقول محلية للسرعة ، وظواهرات مغناطيسية وناشطة .

2- المسائل التطورية

المادة بين النجوم - السدم الكوكبية - الفضاءات الشفافة - ان المادة بين النجوم قد عرفت من وقت قريب ونظرية توازنها محدودة بعدد قليل من الاعمال .

إن كل حتمية تجريبية يجب ان تفصح المجال أمام نظرية ملائمة : نظرية الاستقطاب بواسطة الغيوم العاصية ، منحى نمو خطوط الامتصاص ، تحديد الخصائص الباثية للجزيئات وتحديد طبيعتها (فان دي هولست) الخ .

ودونما رغبة في اعطاء عرض دقيق هنا ، من المهم الاشارة إلى أهمية بعض البحوث الخاصة : منزل Menzel ، آلر Aller ، غولديبرغ Goldberg ، ومعاونهم ، من جهة ، ومن جهة أخرى ، زانسترا Zanstra ، جميعهم درسوا التفاعليات الفيزيائية في السدائم الكوكبية .

ان الصفة الرئيسية في هذه البحوث ، كانت بالمقابل ، مع الدراسات المتعلقة بالفضاءات النجمية تعمل على تصفح منحنيات شفافية (واذن فمسألة النقل كانت مهمة) ، ولكن حيث لم يكن الاشعاع ، المصادر عن النجمة ، بالتالي متوازناً مع الظروف الحرارية الديناميكية المحلية (واذن لم يكن هناك توازن حراري ديناميكي محلي) . ان النظرية - وقد أخذت في الاعتبار الظواهرات الميكروسكوبية ، وعددت الانتقالات الاشعاعية والتبريدات المفاجئة للذرات - أتاحت عندئذ حساب مجموعات المستويات الذرية : وقد استنتج من ذلك امكانية تحديد درجة الحرارة في النجوم الحافزة ، وتفسير الخطوط الممنوعة ، والتركيب الكيميائي . ان هذه النظريات قد طبقت غالباً ، ليس فقط على السدائم الكوكبية ، بل وايضاً على الوجه المضيء من الشمس وعلى التاج .

وأناحت سلسلة من مقالات سبيتزر Spitzer فهم توازن المبادلات الطاقوية ثم حساب - ضمن شروط متنوعة - درجة حرارة الغازات بين النجوم . وقد أثبت سترومجرين ، فضلاً عن ذلك ، حول النجوم الحارة ، وجود مناطق من الهيدروجين المؤين .

إن هاتين المجموعتين من البحوث لهما أهمية أساسية ، وبالفعل ، أنهما تبيينان محدودية الفرضيتين « الشفافتين » : بين سبيتزر الدور الاساسي للصلعات ، وركز سترومجرين على « عدم الشفافية » المهمة في المادة بين النجوم بالنسبة إلى الشعاع UV ، عدم شفافية تلعب دورها في

تكوين الطيف المرئي ، حتى ولو كانت المناطق المعنية شفافة أمام الاشعاعات المرئية .

دينامية الانظمة النجمية - في مجال مختلف تماماً ، هو مجال دراسة الحركات داخل المجرة ، أصبح نشاط الفلكيين قادراً على تجميع عناصر نظرية عامة حول التطور ، بصورة تدريجية .

إن وضوح القياسات التي قَدَّمها علم فلك الموقع هو الذي أتاح تحليلها ، والذي استكمل حديثاً بتحليل المعطيات الواضحة أيضاً حول علم الفلك الضوئي (راديو استرونومي) فوق 21 سنتيم . إن استخدام قياسات الحركات الخاصة والسرعات الاشعاعية أدَّى إلى نشوء علم حركية حقيقي للمجرات . والمظهر الأكثر دلالة هو من جهة دراسة الدوران التفاضلي للمجرة (اورت Oort ، 1926) ومن جهة أخرى التعرف على بنيتها الحلزونية (1955) .

ولكن تطور داخل المجرة رصد العائلات النجمية ، والكتل الكروية أو المفتوحة ، وخاصة التجمعات . إن الدراسة السينمائية أو الحركية لهذه التجمعات ركزت على عمرها القصير جداً أحياناً (امبرسوميان ، 1952) . وبالطبع إن كل مسألة حركية تطرح مسألة ديناميكية ، هي مسألة تفسير الحركات المرصودة : مثل دراسة - داخل المجرة - المسارات ، والاصطدامات (المهمة بوجه عام) (ليدلاد) ؛ دراسة استقرارية الكتل (بيكار ، بوك ، مينور ، فون زيل ، سبيشر ، شندرا سيكار) ؛ دراسة تشكل التجمعات بشكل سلسلة (بلاو Blaauw) : كل البحوث التي تستخدم المتغير « زمن » وتطرح من جديد مسألة التطور الفردي للنجوم المشاركة في هذه الحركات الجماعية . وهكذا هل إن المعطيات المطيافية المتعلقة بنجوم مجموعة ما متلائمة مع عمر هذه المجموعة ؟

مسائل التطور النجمي . الفرضيات حول نشوء الكون أو الفرضيات الكوسموغونية - إن الافكار العديدة حول تطور النجوم وتكون الأنظمة الكوكبية قد عرضت في أواخر القرن التاسع عشر ، في العديد من المؤلفات التي ابرزها هو مؤلف هنري پوانكاريه « دروس حول الفرضيات الكوسموغونية » أي المتعلقة بنشوء الكون (باريس ، 1913) .

من المهم من دون شك إن نذكر افكار سير نورمان لوكيير Lockyer (التي نشرت بين 1880 و 1916) . هذا الباحث ، في تصور لمحول ما يجب أن يكون عليه دياغرام (الخط البياني) هرتز سبرونج - رامسل ، يثبت التطور النجمي كما يلي :

نجوم M عملاقة - (درجات حرارة متزايدة ، تكثف متزايد : عملاقات) - نجوم O (درجات حرارة قصوى) - (درجات حرارة متناقصة ، تكثف متزايد ، قزمات) - نجوم M قزمة .

إن الافكار الحديثة كان لها مع التطور المتصاعد الموحد الذي قال به ن . لوكيير ، نقاط اشتراك كثيرة .

مصادر الطاقة - رأينا كيف أخذت تتوضح بصورة تدريجية الافكار حول بنية النجوم انطلاقاً

من معرفة اشعاعها . والمسألة الأكثر صعوبة ، والتي بقيت طويلاً ، هي معرفة مصدر موجات الطاقة الضخمة ، المرصودة : فالشمس تشع 3.98×10^{33} ارجس ergs في الثانية وذلك منذ حقبة تتألف من عدة مليارات من السنين ، وهو عمر يقدره الجيولوجيون للارض .

ودون ذكر الفرضيات الكيفية التي وضعت في أواخر القرن التاسع عشر تقريباً ، يجب اعتبار هـ . فون هلمهولتز (1854) كمؤلف لأولى النظريات الكمية : فقد أوحى بالتفلس الجذبي باعتباره مصدر الطاقة النجمية وفي سنة 1861 ، الخ . حسب لورد كلفن سلم الزمن المطابق وحصل على : 2×10^7 من السنوات كعمر للشمس ، وهو عمر صغير بالتأكيد وصغير جداً . وبين كلفن أيضاً ان الهبوط النيزكي على الشمس ، والذي زعمه هلمهولتز لا يلائم أبداً .

إن فكرة الانتقال النووي (أي التحول مع خسارة في الكتلة وانتاج للطاقة ، من أربع ذرات من الهيدروجين إلى ذرة من الهيليوم) يجب بالضرورة أن يأتي بعد نشر اعمال انشتين التي اعلنت عن العلاقة بين الكتلة والطاقة : $E = mc^2$. وهذه الفكرة عبّر عنها بوضوح هركنس Harkins وولسون سنة 1915 وج . برين وادنغتون سنة 1920 .

إن تقدم الفيزياء قد أتاح تطورات أكثر تفصيلاً : ان نظرية اشعاع « الفا » والنقاط البروتونات استخدمها اتيكسون Atkinson وهوترمنس Houtermans سنة 1929 . وأقر ويزساكر سنة 1937 النظرية بشكل شبه عصري ؛ فقد أعطى للانتقالات دور المصدر لكل العناصر الكيميائية . باعتبار ان النجوم عند تشكيلها كانت مصنوعة من الهيدروجين النقي : وكانت هذه أول فكرة في نظريات النشوء النووي .

في هذه الأثناء كان تفصيل التفاعلات داخل النجوم الحالية قد توضح : دورة الكربون (غامو ، تيلر ، 1939 ؛ بيت ، كريتشفيلد ، 1940) ، دورة بروتون - بروتون (فولر ، 1951) ، تفاعلات الهليوم (شاتزمان ، 1951 ، الخ) .

إن منشأ العناصر الخفيفة (التفاعلات الحرارية النووية) والثقيلة (أسر الترونات) في الحالات السابقة على النجوم ، قد أحرز ، بعد البحوث الأولى التي قام بها ويزساكر ، تقدماً كبيراً بفضل بحوث ألفرويت وغامو ثم بحوث فولر وج . وم . بوربيدج .

البنية الداخلية والعمليات التطورية . دياغرام هـ - ر - ان التفاعلات التقلصية والطاقة الحرارية النووية هي إذاً الأسباب الأولى للتطور . وقد أتاح تطبيق النظريات المطابقة ، على الكتل الغازية ، تتبع تطورها ، منذ المرحلة السديمية . ودراسة النجوم مثل المستحذثات أو النواك والسيقيديا ، الخ . أتاح التثبت من الظاهرات غير المستقرة في حين ان دراسة « النطف » اخذت تتوضح . ان نظرية البنية الداخلية هي بالطبع في أساس كل نظرية التطور ، رغم ان نموها كان مستقلاً تماماً ، في البداية ، عن كل خلفية تطورية . ان الاعمال التي سبق ذكرها قد استمرت بشكل خاص في عمل ادنغتون (النموذج القياسي ، 1916 والسنوات التي تلتها) . وقد طور ادنغتون القواعد التفاضلية التي وضعها ريختر ، ووسعها ؛ وفيما بعد (من سنة 1929 الى 1936) عمق ميلن ، ثم شندرا سيكار (1936 ، 1937) دراستها ، ودرس ادنغتون « العلاقة بين الكتلة

واللمعية : وبعد ان أثبتتها تطبيقياً ، بررها نظرياً . ونحن نعرف الدور الضخم الذي لعبته هذه العلاقة في البحوث حول النجوم المزدوجة ، وفي اكتشاف القزيمات البيضاء ، الخ . وقد عمل خلفاء ادنغتون (مثل كولنج ، وفون نيومان ، وشندرا سيكار ، وروسلان ، وسترومغرين ومورس وكيلر) على تقدم هذا المجال وذلك بتحسينهم كيفية الاخذ بكثافة أي عدم شفافية المادة بين النجوم ، والمناطق الحرارية العميقة ، الخ .

والنقطة الأكثر أهمية في هذا التقدم هي نظرية فوغت - راسل (1926-1927) : ومفادها ان الكتلة والتركيب الكيماوي يكفيان لتحديد بنية مطلق نجمة ، ضمن ظروف شبه عامة . وبالتالي ، ان السلاسل التي اكتشفت في دياغرام هرتز سبرونغ - راسل لها دلالة تطويرية - وبخلال هذا التطور تتغير كتلة النجمة - فقدان الطاقة بالاشعاع ، خسران المادة نتيجة القذف المنتظم وغير المنتظم . ان التفسير التطوري للدياغرام ه- ر ، وخاصة بالنسبة إلى نجوم الكتلة ، قد أتاح توضيح المراحل المتتالية ، ومعايير التطور كما أتاح تخصيص كل قسم من دياغرام ه- ر بينات نجمية خاصة .

نذكر بحوث سترومغرين (1934-1938) ، وبحوث كيپر (1936) ، وشندرا سيكار ، وأقرب منه بحوث م . شوارتزشيلد وتلامذته ، وكذلك بيرمان وتلامذته ، وباريناغو وماسيفيتش ، وهويل وأعروانه بخلال الحقبة 1945-1960 . وتعتبر ذات أهمية خاصة جداً الفكرة التي اقترحها أوبيك Opik ، ثم طورها م . شوارتزشيلد وتلامذته حول النجوم ذات النوى التي نفذ هيدروجينها ، والتي لها تركيب كيميائي مختلف عن تركيب غيرها من الاقسام .

هذا الحدث الذي هو نتيجة التطور قد ترجم بواقعة ان هذه النجوم تركت السلسلة الرئيسية ان المراحل المختلفة لهذا التطور قد تجسدت في دياغرام ه- ر حول الكتل الكروية .

وهناك مكان خاص هو مكان البحوث حول الظاهرات غير المستقرة ، وخاصة حول منشأ الانفجارات النجمية (مثل المستحدثات النوقا والمستحدثات العملاقة) وحول نشأة النبضات ؛ نذكر هنا أسماء غامو وخاصة روسلان الذي انبثقت عن بحوثه بحوث أكثر حداثة قام بها شوارتزشيلد وشاتزمان وزيفاكين وليدو وويتني . وبصورة تدريجية ارتسمت نظرية اللااستقرار في النجم وهي نظرية خضعت لتأرجحات اجارية اشعاعية أو غير اشعاعية ؛ ان الصفة الاساسية لمثل هذه النظرية هي انها يجب أن تصبح غير خطية لكي تتيج تفسير نبضات السيفيديات .

النجوم الفتية . المتبقيات النجمية - ودون أن نعتبر هذه البحوث نظرية من المهم ان نشير هنا إلى الدفعة التي أحدثتها أرصاد الاشياء الفتية ، هذه الارصاد التي ساعدت كثيراً في تقدم الأفكار : أهمية التجمعات النجمية الشابة (أمبرسوميان ، كولوفوف) وهي أشياء تقلصية لا تستمد طاقاتها من التفاعلات النووية الحرارية (كتلة وولكر Walkor . أشياء هزيغ - هارو Herbig-Haro) .

وفي الطرف الآخر من التطور انصب الانتباه لدى العديد من الباحثين على « المتبقيات » ، بقايا الانفجارات النجمية في المستحدثات العملاقة : مثل سدائم مركاريان ودراسة سديم كراب ، المصدر الضوئي الزاخم .

إن حدّ تطور النجمة بذاتها هو « القزما البيضاء » ، واكتشاف هذا النمط من النجوم يعود إلى النصف الثاني من القرن التاسع عشر . إن الضعف المتناهي في لمعانها ، وكونها لا تتبع العلاقة كتلة - اضاءة ، قد أثبتا على يد ادنغتون . وفي سنة 1926 اكتشف ر . هـ . فولر اكتشافاً أساسياً عندما بين أن هذه القزمات تتكون من غاز متفحقر من الالكترونات بالمعنى الذي قصده فرمي - ديراك . وطور آ . ك . ستورن وميلن وو . اندرسون وشندرا سيكار افكار فولر وطبقوا عليها نظرية البوليترويات أي متعدّدات الصور والأشكال ، مع أخذهم بالفقهر النسبوي .

وفي سنة 1946 اقترح شاتزمان أن توزع العناصر يمنع اختلاطها ، وإن التفاعلات النووية لا يمكن أن تحدث الا ضمن طبقة رقيقة من الخليط . أما اليوم فهناك ميل غالب إلى القول بأنه يجب التفتيش عن نشأة الاشعاع في القزمات البيضاء في برودة تدريجية تصيب نجمة ليس لها في داخلها مصدر داخلي للطاقة .

الفرضيات الكوسموسوغونية : أصل الكواكب - في هذا المجال نشأت مجموعتان من النظريات وتطورتا : النظريات الكارثية وإبرزها نظرية جنيس ، وتفترض تجزؤ خيوط متصلة من مادة انتزعت من الشمس بفعل قوى المد والجزر ، ثم هناك النظريات السديمية التي تجعل النظام الكواكبي امتداداً تطورياً لسديم بدائي أول ، وهي تقوم على تطوير أفكار لاپلاس أو كنت .

إن راسل حين أثبت سنة 1935 أن الفرضيات الكارثية لا تتلاءم مع قوانين الحفظ ، ثم تلاه سبيتزر سنة 1938 ، حين بيّن قلة واقعيّتها الفيزيائية ، هما اللذان فتحا الطريق أمام التطوير الحديث للنظريات السديمية : والمراحل الرئيسية فيها هي الدراسة الفيزيائية الكيميائية لعمليات التكثف (ترهار ، 1948 ، واورى ، 1952) ثم النظرية الميكانيكية القائلة بالتراكم داخل الصحن السديمي (ويزساكر ، وكبير وشميدت بعد 1944) .

3- الاتجاهات في علم الفيزياء النجومية الجديد

العلاقة شمس أرض ، الظاهرات غير الحرارية - لقد جذبت البحوث الشمسية ، منذ حوالي خمسين عاماً ، الانتباه حول وجود حقول مغناطيسية محلية قوية ، إن اكتشاف نجوم مغناطيسية ، من قبل هـ . ر . وهـ . و . بابيكوك قد طرح من جديد مسألة فهم هذه الظاهرات .

إن تكون هذه الظاهرات مربوطة بدوران النجوم ويقذف المادة ، هذا أمر يجب عدم الشك به . ولكن بخلاف العديد من السنين ، اكتفى العلماء المتخصصون في الفيزياء النجومية بأوصاف ظاهراتية ، وبيحوث احصائية ، وبحسابات ارتباطات وعلاقات ، الخ .

وقد ظهر أول جهد مهم ، تأليفى تركيبي ، في كتاب القرن Alfvén وعنوانه « المغناطيسية - الماية المتحركة = مانيتو - هيدرو - ديناميك » (1948)، وهو خلاصة اعمال بدأ نشرها سنة 1942 . إن هذا العلم الجديد ، المتلائم بشكل خاص مع الظاهرات النجومية الفيزيائية ، الشزم ، بادىء الامر ، بنظرية العلاقات بين الشمس والأرض ، وبالأثار الجسيمية ، ونظرية النشاط الشمسي وبالظاهرات الناشطة .

واليوم اجتاحت البحوث حول الظواهر التي تحدث في البلازما كل مجالات الفيزياء النجمية .

ان دراسة قفزات الاشعاع الضوئي الكهربائي في الشمس (دنيس) ودراسة المصادر الضوئية غير الحرارية (سديم كراب : فان دي هولست ، اورث Oort) قد اثبتت الاشعاع السنكروتروني [السنكروترون هو سيكلوترون فيه تتعادل زيادة الكتلة النسبوية للجزئيات بتغير في الحقل المغناطيسي] المنبعث عن الالكترونات النسبوية المتحركة في حقل مغناطيسي . ان بعضاً من هذه الظواهر ، تبدو وكأنها منبعثة ، بصورة أولى ، عن اشعاع سيرنكوف ، أكثر مما هي من الاشعاع السنكروتروني . ان البحوث النظرية التي قام بها شكلوفسكي Shklovsky حول التاج الشمسي ، وبحوث فان آلن حول البيئة الارضية ، ونظرية الانفجار والمغناطيسية الارضية التي قال بها شاپمان ، ونظرية المقذوفات الغازية التي قال بها لوست وشلوتر Schluter ونظرية باركر حول الهواء الشمسي ، هي بعض أمثلة كثيرة ، ذكرت من بين الف .

نظرية الفضاءات « الفيزياء النجمية الجديدة » - اقترح مقال لسترومجرين ، في سنة 1940 ، من اجل تحليل الاطياف النجمية ، وخاصة في حالة الشمس ، بناء شبكات من النماذج ومن منحنيات النمو الحرارية . ان تطبيق مثل هذه الطريقة لم يكن ممكناً آنذاك . وقد أصبح اليوم ممكناً ، بسبب استعمال وسائل الحساب الالكتروني . ومن النتائج الأولى الحصول على الكثرات (آلر ، أ . مولر ، غولديبرج ، 1960) .

ولكن هذا التوضيح المتزايد بفضل الحسابات ، مضافاً إلى توضيح القياسات ، يقتضي أيضاً وجود نظرية فيزيائية أكثر تقدماً . ان الفرضيات التقليدية عن الفضاءات النجمية ، يجب رميها ، لأنها لا تتوافق الامع التقريبات البسيطة :

أ - ظواهر الانتقال الحرارية - ان نظرية شوارتزشيلد ، المستعادة والمستكملة من قبل العديد من المؤلفين منذ انسولد ، تقدم معياراً استقرارياً ضد الانتقال الحراري . ان اتساع مناطق الانتقال الحراري ، يتأثر جداً بغزارة الهليوم (مش . و . بيكر) ؛ والنجوم الغنية بالهليوم هي من دون شك اكثر لاستقرارية ، تجاه اللبذبات ، وقد تصبح نجومياً نابضة (كوكس Cox كينهاهن Kippenhahn ، وزيفاكين Zhevakin 1961) .

وعن منطقة الانتقال الحراري ، تصدر موجات صوتية تحدث « الحماسة » في السطح المعضيء من الشمس وفي التاج ، وهي ظاهرات ما يزال تحليلها النظري ودرسها التجريبي في البدايات .

ب - تدخل اللاتجانسات - إن وجود ظواهر الانتقال الحرارية ، والتجيب الذي هو أحد مظاهرها ، يؤدي إلى افتراض وجود نوع من اللاتجانس . وقد اقترح العديد من المؤلفين ، امثال ك . هـ . بوهم ، نماذج لا تجانسية للفضاء الشمسي . ومن المؤكد ان الانعكاسات عديدة .

ج - الانحرافات عن التوازن الحراري الديناميكي المحلي - الأكثر أهمية ،

من غير شك ، هو وجود - في اجزاء الشمس وفي السطوح المنيرة منها ، كمافي التيجان - انحرافات مهمة عن التوازن الحراري الديناميكي المحلي . ان دراسة الجوانب (بيكر وتلاميذه ، 1957) قد أثارت اثباتها في طيف فرونهوفر : ونتائج ذلك تلاني نتائج التحليل النظري الذي قام به توماس ، وتلاميذه (منذ 1950) الذي حل بأن وأحد معادلات التحول ومعادلات التوازن الاحصائي في المستويات الذرية ، وحصل على معاملات انحراف التوازن الحراري الديناميكي المحلي . والنظرية الجديدة ومبسطة بين التقريبين الاقصيين ، وتتفادها : التقريب المسمى « سديماً » ، لأن السديم شفاف امام كل الاشعاعات ، والتقريب المسمى « نجومياً » ، لأن الاشعاع والمادة هما في حالة توازن في كل نقطة . انه عن « التزاوج » بين مختلف العمليات الفيزيائية ، يتج ما يسميه توماس « المطيافية الجديدة » .

د - الظواهر الكهرمغناطيسية وغير الحرارية - من اجل تعميم تعبير توماس يمكن ان نسمي « فيزياء نجومية » الفيزياء الناتجة عن استحالة عزل التفاعلات الفيزيائية بعضها عن بعض : علم المغناطيسية - المائية - المتحركة « مانيتو - هيدرو - ديناميك » وهو دراسة التفاعلات المتبادلة بين حقل مغناطيسي وحركات المادة ؛ نظرية البلاسمات وهي دراسة التفاعلات المتبادلة في الموجات التي تجتاز وسطاً مزيئاً ، وفي هذا الوسط بالذات دراسة نظرية الفضاءات ، ونظرية الاشعاع والشروط المحلية التي يؤثر بعضها في بعض .

إنه من غير شك هكذا ثبت علم الفيزياء النجومية النظرية المستقبلية : وفي ظل الترابطات غير المتوقعة ، والتزاوجات ، والتفاعلات المتبادلة ، بدأ هذا العلم علماً أكثر تعقيداً . ثم لا شك انه يلعب ، أكثر فأكثر ، بالنسبة إلى الفيزيائيين ، دور المرشد ، في مختبر فضائي ليس له فيه منازع : تلك كانت الحالة في مجال التفاعلات النووية الحرارية ، وهذا هو الحال الآن في مجال حي جداً هو مجال البلاسمات . وعلى كل حال ، من المؤكد ان علم الفيزياء النجومية لا يمكن ان يعتبر كفرع مستقل علمياً : فهو يتكامل مع كل الفيزياء .

XIII - الانمار الصناعية

فلما شوهد في تاريخ العلم ، تقنية بحث تبرز فجأة بهذا الشكل ، ثم تعرف تطوراً بمثل هذه السرعة ، ثم تحمل ثماراً باكرة جداً ، كتقنية القمر الاصطناعي . ان أرب الاستباق الذي يعكس في أغلب الاحيان اتجاهات الفضول العلمي ، والذي استطاع بفضل اقلام مأذونة ان يصبح تكهنات - ليس له وجود هنا . منذ عشرين سنة تقريباً ، في وقت كان فيه للمهندسين كلام بشأن المشاريع الريادية الفضائية ، عالج الفرنسي اسنولت - پلترى Esnault-Pelterie (1881-1957) معالجة عميقة كل المسائل التقنية المتعلقة بالموضوع دون أن يتطرق أبداً إلى القمر الصناعي . وفي الواقع ، ومنذ بوشرت دراسة الوسيلة في ترك الارض ، كان التصور دائماً يدور حول مركبات يمتطيها الانسان وترسل نحو غرض معين . أما الدوران حول الارض فلم يكن يجتذب الانتباه ؛ ولم يفكر به أحد حتى ولو بواسطة آلة يدون انسان .

وهذا النقص في الاستباق له مبرراته . فلم يكن بالامكان ، حوالي سنة 1950 ، تصور

امكانية ايجاد هذه المركبة ، ولا تصور الفائدة التي يمكن ان تحصل من صنعها . ولكن وجه الاشياء كان لا بد ان يتغير ، وبالضبط من هذه الرؤية المزدوجة ، على اثر التقدم الذي تحقق تحت ضغط الاحتياجات العسكرية بين سنة 1939-1945 ، خاصة في مجال الصواريخ وفي مجال الالكترونيات .

واذا كان مبدأ الدفع بواسطة القذف ، ومركبته النموذجية ، الصاروخ ، معروفين قديماً ، وإذا كان من المعروف منذ وقت طويل ان في هذا الوسيلة (ربما الوحيدة) للانتقال في الفراغ ، فقد كان لا بد من قوة الصاروخ V_1 والصاروخ V_2 ، من اجل التوصل إلى جوبيتر C ، وثور Thor وفانغارد Vanguard وغيرها . لقد قدم علم الالكترونيات وسائل التوجيه والسيطرة والتحكم من بعيد ، الضرورية ، للاطلاق وكذلك صوت القمر الصناعي وكل البهارج المفيدة يومئذ لتركيز اكثر ما يمكن من المعلومات حوله .

في حوالي سنة 1950 بدا القمر الاصطناعي ، أخيراً انجازاً في تناول الانسان . وصُدف يومئذ ان بدأت الاستعدادات للسنة الجيوفيزيائية الدولية .

1 - بدايات الملاحة الفضائية

الأقمار الصناعية A.G.I. أو السنة الجيوفيزيائية الدولية - ان المشروع جاء بعد « السنوات القطبية » التي عقدت في سنة 1883 و1933 ، وقد حرك العالم العلمي من أجل القيام بدراسة مشتركة طيلة ثمانية عشرة شهراً ، انطلاقاً من أول تموز 1957 ، لبرنامج مخصص للأرض وجواريها . أما دراسة الفضاء الأعلى ، بشكل خاص فقد كانت تستعين إلى حد كبير بالصواريخ التي شاع استعمالها في عدة بلدان . ولكن في سنة 1945 صدرت عن الاتحاد الاشعاعي العلمي (راديو سيانتيфик) الدولي المجتمع في لاهاي ، ثم الاتحاد الدولي للجيوديزيا والجيوفيزياء المجتمع في روما ، توصية باطلاق أقمار صناعية للبحث بخلال السنة الجيوفيزيائية الدولية . وفي 4 تشرين الأول سنة 1954 عادت اللجنة الخاصة المنبثقة عن A. G. I. إلى هذا الاقتراح ، وسجلت في برنامجها نظاماً تحت هذا العنوان المزدوج : « الصواريخ والأقمار الصناعية » . وفي سنة 1955 أعلنت الولايات المتحدة انها تستعد لاجراء التجربة بخلال الحقبة المحددة . وكذلك اعلن الاتحاد السوفياتي سنة 1956 .

الأقمار الصناعية الاولى - ان المشاريع الاميركية كانت موضوع دعاية كبيرة وانتشار حتى لدى الجمهور . ومع ذلك فقد عاد شرف السبق في الاطلاق الى الاتحاد السوفياتي ، ثم تكرار المحاولة بعد شهر من الاطلاق الاول .

في 4 تشرين الأول سنة 1957 أثار اطلاق أول سبوتنيك Sputnik اعجاب العالم خاصة وأنه جاء من جهة غير متوقعة ، ثانياً لأنه بدا ضخماً (83 كيلوغراماً) بالنسبة إلى مشروع اميركي صغير « بامبليموس » من 1500 غرام . والواقع ان بعض المجلات السوفياتية قد أعلنت عن المميزات الرئيسية لهذه الآلة ، دون ان تعطي بالطبع تاريخاً دقيقاً لاطلاقه ، مع الإشارة مثلاً الى التواترات

التي بقيت كلاسيكية ، من عشرين ميغاهرتز الى 40 ميغاهرتز ، حتى تستطيع الراديوالات الهلولة تتبع البث . ولكن يجدر القول ان المقامات العلمية وخاصة تلك المهمة بالـ A. G. I. لم تعلم لا مسبقا ولا اثناء الاطلاق بالعملية .

وقد قام سبوتنيك واحد الضغوطات ودرجات الحرارة . وقد سكت جهاز بثه بعد ثلاثة اسابيع ، والقسم الاخير من الصاروخ الذي كان يدور وينجذب من جانبه كان شيئاً جميلاً للمشاهدة والرصد . وقد وقع إلى الارض في أول كانون الاول ثم تبعه القمر الصناعي في 4 كانون الثاني سنة 1958 . ومدارها المشترك عند الانطلاق جعلهما يدوران بين 225 و 950 كيلو متراً بعيداً عن الارض وحولها .

وفي 3 تشرين الثاني كان سبوتنيك 2 قد اطلق ، وكان وزنه 508 كيلو غرام ؛ وفيه مقصورة أو كابينة خاصة فيها كلبة للتجربة . وقد بلغ سمته 1780 كيلو متراً . واشتغل جهاز البث فيه طيلة اسبوع . وكان القمر أيضاً مرئياً تماماً ، كما بقي الصاروخ ملتصقاً بالقمر ووقع إلى الارض في 14 نيسان سنة 1958 .

وفي 15 ايار سنة 1958 انطلق سبوتنيك 3 الذي يعتبر قمراً صناعياً اوركسترا حقيقية . وظل لمدة أطول وقام بانجاز أخصب . فقد كان وزنه الاجمالي 1325 كيلو غراماً ، وحمل معدات وزن 950 كيلو غراماً ، واجرى ما يقارب من عشر تجارب . اما جهاز بثه فقد بقي يعمل حتى سقوطه في 6 نيسان 1960 .

البدليات الأمريكية - إن البرنامج الأمريكي فشل في بادئ الامر . فمشروع فانغارد اسند إلى البحرية ، وكان فيد التنفيذ وفقاً للخطط عندما انطلق القمران الصناعيان الروسيان الأولان سبوتنيك . وعندئذ سرّعت الأشياء ، بتجاوز بعض المراحل (مثل قذف حقيقي للمركبة الكاملة) . ونتج عن ذلك سلسلة متعبة من العمليات المتقطعة أو المؤجلة في اللحظة الأخيرة ؛ وعقبها فشل كامل في 6 كانون الاول 1957 .

وعندها تقرر افساح الخط أمام مشروع قامت به بذات الوقت فرقة من جيش الارض تحت ادارة ورنر قون براون ، والذي كان يعدّ قمراً يزن 15 كيلو غراماً محمولاً بصاروخ ذي اربع طبقات اسمه جوبيتر C ، واطلق على القمر اسم اكسبلورر ، الكشاف . وتمت المحاولة في ليل 31 كانون الثاني - أول شباط سنة 1958 ونجحت تماماً . ودار اكسبلورر واحد بين 370 و 2500 كيلومتر أي انه ارتفع أكثر وانخفض أقل من الصاروخين الروسيين الاولين ، ومن الثالث الذي تبعهما . وكان ما يزال في مداره في الستينات .

وبعد فشل جديد في 5 شباط 1958 نجح فان غارد الاول بدوره في 17 آذار ، ثم تبعه اكسبلورر الثاني في 25 منه . إلى درجة انه بخلال شهر ، أي بين سقوط سبوتنيك 2 واطلاق سبوتنيك 3 . كانت ثلاثة اقمار اميركية تتجول حول الارض وحدها . كان مدار فانغارد الاول رافعاً فقد كانت نقطته الاقرب إلى الارض 650 كيلو متراً وكان سمته 4000 كيلومتر . ان الهدف في هذه الشروط هو عملياً شيء خالده . ثم انه ما يزال مستمراً في البث .

وفي سنة 1951 اطلق ايضاً اكسبلورر الثالث ثم تبعه صاروخ اطلس كامل (اكثر من 4 اطنان) ، وفي سنة 1959 اطلق قمران فانغارد آخران في مدارات كمدار القمر الاول ، واطلق صاروخان اكسبلورر ، وستة اقمار أولي من سلسلة ديسكوفر التي سوف نتكلم عنها . في هذه الاثناء اكتمل الاتحاد السوفياتي بسبوتنيك 3 ، ولكنه اطلق ثلاثة صواريخ باسم لونيك باتجاه القمر . وأول هذه الصواريخ (2 كانون الثاني 1959) ذهب ابعد وانتهى الى مدار بحيث اصبح قمراً اصطناعياً . والثاني اطلق في 12 أيلول سنة 1959 واصطدم بارض القمر بعد 34 ساعة أما الثالث فاطلق في 4 تشرين الاول سنة 1959 ودار حول القمر واخذ له صوراً شهيرة عن سطحه المقابل .

وشاهدت السنوات 1960 وما يليها تجارب عديدة ، وانتهت بحدث متوقع لدى الجماهير : وهبوط اير انسان في الفضاء . وبدلاً من الوقوف عند تفصيلات هذه الاقمار فسوف نحاول ابراز المراحل والتسلسل الذي يشكل ما يمكن ان يسمى بالتاريخ .

2 - تطور القمر الصناعي

التحكم بالمدار - في البدايات كان نجاح القاذف هو الأساسي ؛ ان المدار في حده الأدنى يتجاوز قليلاً حد الأمان الحيوي بالنسبة إلى القمر الصناعي (180 كلم تقريباً) ، اما الذروة فكانت متواضعة : 1000 الى 2000 كلم . تلك هي مدارات سبوتنيك الثلاثة . ولكن سرعان - وخاصة مع الاقمار الصناعية الاميركية الاخف وزناً بوجه عام - ما امكن الحصول على مدارات اكثر جدوى . لقد سبق وأشرنا إلى سلسلة فانغارد ، (الحضيض فوق 500 كلم والذروة أو السميت حتى 4000 كلم) ؛ في سنة 1960 وضع القمر الصناعي ايكو واحد في مدار شبه دائري علوه 1650 كلم ، أما سلسلة تيروس فذات مدارات دائرية من 700 كلم تقريباً . وفي سنة 1961 اطلق ميدامس 3 الذي دار بين 3350 كلم و 3540 كلم رغم انه كان يزن 1600 كلغ ، ثم تبعه ثلاثة أخرى سنة 1962 .

فضلاً عن ذلك تم التوصل إلى مدارات بعيدة جداً قصد بها استكشاف المناطق البعيدة وكانت تحمل القمر الصناعي إلى ذروات تصل إلى 40 ألف كلم (اكسبلورر 6 ، 7 آب 1960) ، وذروات تبلغ 200 ألف كلم (اكسبلورر 10 ، 25 آذار 1961) ، ثم 80 ألف كلم (اكسبلورر 12 ، 16 آب 1961) . ان لونيك 3 الذي له في الواقع مدار قمر صناعي ، رغم أنه قد تغير بشكل محسوس قرب القمر ، فقد بعد عن الارض اكثر من 400 ألف كلم . ولكن هذه المدارات الطويلة جداً هي دائماً عرضة للاضطراب بفعل الجاذبية القمرية الشمسية ، والاقمار تبدو عرضة للزوال . وعلى كل حال ان التحكم بها قلما يتجاوز عودتها مرتين أو ثلاثة إلى الحضيض .

إن المركبات الفضائية الضخمة الكونية السوفياتية (4,5 أو 6,5 طن) وهي 7 في مجموعها ، قد وضعت في مدارات منخفضة ، ولكنها كانت تستجيب بشكل جيد للطلب . فقد كلفت في بادئ الامر في استكشاف ذروة القمر الصناعي المستقبلي المأهول ، وإذا فقدت تبعث المركبتان الاوليان مدارات دائرية على بعد 300 كلم . ثم من أجل دراسة عملية النزول انطلاقاً من

الحضيض ، فقد تبعت المركبتان الاخيرتان مدار العربة المستقبلية التي ركبها الانسان ، بين 180 و 250 كلم .

وهناك نقطة أخرى أساسية في الملاحة الجوية هي موضوع تغيير الطريق . وكانت المحاولات الاولى بهذا المعنى قد جرت في عملية ديسكوفرر ، لأنها تضمنت هبوطاً طويلاً مداه 3000 كلم لكبسولة فضائية منفصلة عن القمر ، وتنزع من مدارها عند الزاوية المرادة . ثم جاءت السيونتيك الثقيلة التي انتهت بالمركبتين المأهولتين بالبشر واللتين هبطتا (أو اعيدتا بانخفاض شديد ضمن ظروف أمنية تتلاءم مع فقر بالمظلة) وفقاً لبرنامج أوتوماتيكي خالص ، حيث يستطيع الرائد عند اللزوم التدخل . وتمت تجربة أقرب إلى الانجازات المستقبلية بفضل تجربة ديسكوفرر 21 (18 شباط 1961) التي تلقت دفعاً اضافياً بواسطة صواريخ على متنها تشغل في الدورة الرابعة بناءً على امر مرسل من الارض . وهكذا ينتقل القمر من مدار 93,8 إلى مدار أكبر 97,8 دقيقة .

وأخيراً هناك عملية خاصة جداً في مجال الصواريخ العابرة للقارات قد تحققت بفضل سيونتيك الخامس الثقيل الذي اطلق وأرسل نحو كوكب الزهرة رائراً فضائياً في حين كان يسير في مداره (1961/2/12) وهذا الاسلوب في الاطلاق الذي فتح سبلاً جديدة يقتضي التحكم الكامل بتقنية دقيقة للغاية .

المبادلات مع الأرض - لقد أشرنا بصورة موجزة إلى الدور الامامي الذي يلعبه قياس المسافات من بعيد ، ويقتضي الامر ترجمة الاشارات التي يرسلها القمر الصناعي إلى مؤشرات في أجهزة القياس . وهذه التقنية قد تم انجازها في المختبرات . ولكن البث الصادر عن الاقمار الصناعية يطرح مسائل خاصة . إن وزن مصدر الطاقة محدود . من جهة أخرى انها جميعاً تلور فوق اليونسفير الذي يريك البث . في الواقع إن الاتصالات مع الاقمار الاصطناعية كانت موضوع تحسينات كبيرة ، وكانت الخطوة الاولى ، منذ أول فانغارد ، العناية بالبطاريات وتغذيتها بالطاقة الشمسية . وقد استفاد سيونتيك 3 من نفس التقنية وكذلك غالبية الاقمار الأخرى المخصصة للبحث ، وسرعان ما ظهرت الاجنحة التي تنتشر أو تفتح بعد الاطلاق والتي تحمل آلاف العناصر التصورية الحساسة .

وطرح عدد الاقمار الصناعية مسألة التشويش في التواترات المستعملة ؛ ولهذا قصرت مدة البث ، بصورة مسبقة على مدة شهر ثم ثلاثة أشهر (حالة تيروس Tiros) ثم على سنة في أقصى الحالات . وكان هناك حل آخر ، مفيداً جداً خاصة في حالة الروائز الفضائية ، لانه يقتصد في الطاقة ، وقوامه اثاره البث في كل مرة ، لوقت قصير ، بناءً على أمر مرسل من الارض . ومزجت هذه الطريقة مع التسجيل على شريط مغناطيسي لكل المعلومات بما فيها صور آلات التصوير كما كان الحال في سلسلة تيروس ، مما أتاح جمع كل النتائج بواسطة محطة أو محطتين متخصصتين في هذه العملية ، وليس وفقاً لسلسلة تغطي كل المدار . وقد تم تحقيق هذه الاتصالات عبر مسافات متزايدة : 400 ألف كلم في لونيك واحد ، 700 ألف كلم مع بيونير 4 ، و 36 مليون كلم مع بيونير 5 ، 100 مليون كلم مع مارينر II وفارميس واحد 1962-1963 .

استعادة الكبسولات أو الاقمار الصناعية - من المفيد جداً إمكانية التنصت على الاشارات الصادرة عن مركبة فضائية . ولكن بعض الدراسات وخاصة تلك التي تتناول شروط الرحلة البشرية ، خاصة عندما يوضع أفراد من البشر أو عينات في القمر الصناعي ، تفترض أن نعيد إلى الارض قسماً على الاقل من القمر الصناعي مع المعدات والتسجيلات أو الاشخاص .

تلك كانت الغاية الاساسية من سلسلة ديسكوفر . ان الكبسولة (170 كلغ) تنفصل أثناء الطيران بناء لأمر ، وتعود إلى الارض ونظرياً ، بعد نشر المظلة في المرحلة الاخيرة ، لتلتقط داخل اشباك تجرها الطائرات . وقد تمت العملية في منطقة جزر هاواي ، وكان الامل بالنجاح مضموناً اذا وقعت الكبسولة في البحر على ان تلتقط بسرعة ما . وقد نجحت هذه العملية البهلوانية تماماً . وابتداءً من آب 1960 التقط الاميريكون بهذه الطريقة عدة كبسولات .

وعندما بدأ الاتحاد السوفياتي سلسلة مركباته الفضائية الثقيلة ، متأخراً قليلاً ، كان الهدف هو ذاته . ومنذ المركبة الاولى جرت محاولة الفصل . ولكن الاجزاء ارسلت في مدار أطول .

وباقرب وقت امكن استرجاع المقصورة المعزولة سالمة بما فيها من حيوانات تجربة ، واخيراً ، امكن استرجاع أول مسافر بعد دوران (12 نيسان 1961) ، ثم ثان بعد أربع وعشرين ساعة (7 آب 1961) . واطلقت الولايات المتحدة كبسولات مركوري المأهولة ، لثلاث دورات (20 شباط و 24 أيار 1962) ، ثم لسبع (3 تشرين أول) ثم لسبع عشرة (14-15 أيار 1963) . وانطلقت مركبتا فوستوك مأهولتان من الاتحاد السوفياتي في 11 و 12 آب 1962 ، بخلاف فترة فاصلة مدتها 24 ساعة واقتربا إلى أقل من عشرة كيلومترات فوق مداريهما ثم استرجعتا إلى الارض وبين الواحدة والاخرى عدة دقائق في 15 آب . وكانت مركبتان قد دارتا من 14 ومن 16 إلى 19 حزيران 1963 .

الاقمار المتخصصة - يبدو ان التقدم أخذ بعد ذلك يتفاعل بذات الوقت باتجاهين : اتجاه سفرات الانسان ، التي بقيت خجولة حتى ذلك الوقت (قمر منخفض ، وفيما بعد بقرب القمر) ، ثم اتجاه الدراسات الخالصة التي لم تكن الهدف الوحيد . وبدأت التطبيقات العملية . ونذكر بعضاً من الوظائف الخاصة التي اسندت إلى اقمار خاصة ابتداءً من 1960 .

لقد تمّ باكراً التفكير في تكليف الاقمار بأخذ صور للانظمة الغمامية ، اذ من ارتفاعها الذي هي فيه ، تستطيع ان تعطي صوراً عن المجمعات الكبرى وعن تطوراتها . ويعد محاولة بدائية بواسطة فانغارد 2 ، اطلقت الاقمار الصناعية الحقيقية من اجل دراسة الطقس : التيروس (القمر الصناعي التلفزيوني وذو المدار تحت الاحمر) . كانت هذه الاقمار مزودة بكاميرتين ذاتي بؤرة مختلفة ، وأخذت تقل بناء للطلب الصور المسجلة على شريط مغناطيسي . لقد اكلف كل قمر أن يبتّ طيلة ثلاثة أشهر ؛ ورغم ان السبعة ما تزال تدور دائماً ، فان الاخير منها وحده بقي ناشطاً . إن تيروس 1 ، الذي أطلق في أول نيسان 1960 ، قد أرسل حتى آخر حزيران 22952 صورة فوتوغرافية . وكانت النتائج رائعة ، وربما انقلبت حيوات كثيرة ، حين اشارت إلى أعاصير (سيكلون) منذ بدايتها بعيداً عن الارض ، حيث أمكن اعطاء الانذار مسبقاً .

وقد تم التفكير أيضاً بالاقمار الصناعية المتواصلة من اجل الاتصالات ، وهذا تحت مظهرين : المرأة البسيطة ذات الموجات (انه البالون الكبير ايكو « الصدى » ، وقطره 30 متراً ، ثم تبعته بالرونات اخرى اكثر علواً ، حوالى 3000 كلم بدلاً من 1600) والآلة التي تلقى ، وتسجل وتنقل في نقطة ما من مدارها بناء للطلب : انه « الكورييه » العجيب 1 (4 تشرين أول 1960) . ان هذا القمر حمل خمس مسجلات ذات شريط مغناطيسي (4 من اجل التسجيل اللاسلكي (télétypie) وواحد من اجل التلفون اللاسلكي) والتي كانت تعمل بواسطة 1300 ترانزستور ، ويغذيها 2000 عنصر « احساسي ضوئي » تعيد شحن وتعبئة بطاريات صغيرة جداً من النيكل والكادميوم . ان الوظائف الثلاث (التلقي والتسجيل والبت) يمكن أن تتم بأن واحد بسرعة هائلة من 70000 كلمة في الدقيقة . ان هذا القمر حضر للمشروع اذقت Advent الذي تضمن ثلاثة أقمار متشابهة فوق مدار استوائي لمدة 24 ساعة (يارتفاع 35000 كلم) والذي اتاح ربط العالم بأكمله أيضاً بالاتصالات العادية وكذلك ببرامج (تلفون ، تلغراف ، مع التخفيف من عبء الشبكات القائمة . في 10 تموز و 13 كانون أول سنة 1962 اطلق تليستار Telestar ، ثم ريلي Relay اللذان تلقيا وضخماً وثناً مباشرة الوسائل والبرامج (تلفون ، تلغراف ، تليتب « مسجل لاسلكي » ، برامج تلفزيونية) ؛ وقد بلغا على التوالي ارتفاعات من 5600 كلم ومن 7500 كلم ، أمّنت لهما تحقيق الاتصالات بين القارات طيلة مدة ما (لمزيد من التفاصيل حول هذا الموضوع ، راجع دراسة ب . مارزين وج لوميزك ، الفصل IX من القسم الثاني) . واطلق تليستار 2 في 7 أيار 1963 .

ويمكن استعمال الاقمار الصناعية كمناورات ضوئية للملاحة . وهنا أيضاً لا بد من وجود أقمار عدة ، والمشكلة هي في معرفة مواقعها الصحيحة . ان التجربة جارية مع « الترانزيت » (اطلقت أربعة منها) تتحكم بها ست محطات خاصة . وترسل الارصاد بواسطة التليتب إلى مركز الحساب الذي يذيع عناصر المدار . ان هذه المدارات ترسل إلى القمر الذي يفسرها بذاته بحيث يثبت التوقعات المرتقبة على طريقة المستقبلية . نذكر ان اثنين من هذه الترانزيت اطلقا بذات الوقت مع قمر ثالث ، بواسطة صاروخ وحيد ، والاخير اطلق بواسطة صاروخين آخرين . ومن اجل تشكيل مرجع صالح للاتجاه فقد بث على موجات ذات وتيرات خاصة .

وهناك تطبيق عملي قريب هو القمر الصناعي الجيوديزي . وشرط الحصول منه على ارساد للموقع دقيقة جداً ، ان مثل هذا القمر يتبع ربط الاراضي المعزولة بالشبكة العامة ، وكذلك يتيح درس هيئة الأرض المائية (géofide) أو بصورة أدق أسطح مستوى زخم الجذب . وقد بث أول قمر جيوديزي آنا B1 (31 تشرين أول 1962) ، اشارات موجزة ضوئية ، بشكل يضمن تتابع وتالي المواقع المستهدفة بشكل أوتوماتيكي .

نذكر تطبيقاً كان من السهل استباقه ، وهي الاقمار الجاسوسة : ميدام ، وساموس الخ . واستهدفت هذه الاقمار أساساً الاكتشاف الباكر لانطلاق صاروخ عابر للقارات مهم وكذلك اكتشاف الانفجارات النووية .

وأخيراً ان المركبات الفضائية - دون أن تسلب الصواريخ الاوتوماتيكية جدواها ، نظراً لكثرة

عدها ولمدتها - فتحت إمكانيات ضخمة . ويمكن - في مجال البحث - توقع ملاحظات ارسادية رئيسية سواء باتجاه الارض أم باتجاه الكواكب ؛ كما يمكن أيضاً ، وفي مستقبل بعيد ، توقع استكشاف الاجسام الخارجية ، بتقريبها من بعضها البعض أولاً ، ثم بوضع اجهزة فوقها وربما رُصَاد . ولكن هذا يقودنا بعيداً عن القمر الصناعي ، كما يأخذ بنا بعيداً في المستقبل .

النتائج - في تاريخ للاقمار الصناعية ، ورغم أن التجربة ما تزال في طور النمو والتطور ، ربما كان من المناسب الكلام عن النتائج الأولى . ان الاستكشاف بواسطة السبر المباشر كان يقف في السابق عند حدود الاربعين كيلومتراً ارتفاعاً ، ومنذ عهد قريب ، اتاحت الصواريخ التحليق السريع لحدود 500 كلم . ان القمر الصناعي مذّ البحث عشر مرات أعلى ، والرائز الفضائي بلغ المسافات بين الكواكب ، ولكن القمر الصناعي أتاح ، فضلاً عن ذلك دراسة متتابعة عملياً . ومن جهة اخرى انه يستكشف فقط وسط مروره ، بل كل ما له صلة به ، مثل الاشعاعات المتنوعة ، وهو يستطيع أيضاً نقل ما يراه ، سواء من جهة الارض أم من جهة السماء . وهو ، كموضوع مادي ، يقيس بحرسته كثافة الفضاء الاعلى ، ثم بفضل اضطرابات هذا الفضاء يقيس شكل الارض . ونفهم ، ضمن هذه الشروط ، ان نتائج جديدة تماماً ، أو تحسين المعطيات السابقة ، قد تم اكتسابها بكميات .

في بداياته ، قدم سيوتنيك 1 كثافات قدمت كشفاً أولاً ؛ ان استكشاف المعطيات الموجودة اعطى أربع عشرة مرة أكثر . واليوم تقام جداول بالكشافات ، وأفضل من ذلك ، أمكن تتبع التغييرات مع النشاط الشمسي .

إن درجات الحرارة لا يمكن أن تميز وسطاً شبه فارغ ، ولكنها تسجل حالة توازن بين احتراز القمر الصناعي بالشمس واشعاعه في الفراغ ؛ ومهما كان السبب ، فانها تتحكم بالحياة في مركبة فضائية ، وحتى التشغيل الصحيح لمختلف الاجهزة والبطاريات . وقد تم اذن درس درجة حرارة السطح بعناية فائقة ، مختلف جوانب الاقمار . كما تمت السيطرة اثناء الاطيران على أنظمة التحكم الحراري .

وقد أفرد مكان كبير لقياس الاشعاعات ولاحساب المتصاعدات radiations الاشعاعية الجسيمية التي يتلقاها القمر الصناعي : فوق البنفسجي ، تحت الاحمر ، اشعاع غاما γ ومناطق متنوعة في الطيف الشمسي ، والاشعة الكونية ، الخ . لقد سبق وأتاحت الصواريخ رسم ايزوفوتات Isophotes على بعد 1300 Å لبعض اقسام السماء ؛ ومن المأمول وجود اقمار صناعية فلكية قادرة على رصد شيء أو عدة أشياء محددة .

لقد درست الاقمار أيضاً الحقل المغناطيسي والكهربائي الثابت حول الكرة الارضية ، والجسيمات المشحونة الموجودة في الوسط ، والانفجار القطبية . ومن اكتشافاتها الكبرى كان اكتشاف المناطق المسماة مناطق « فان آلن » باسم الفيزيائي الاميركي الذي نجح في اكتشاف عدة ارتفاعات حيث يظهر تزايد مفاجيء في الاشعاع . ان المنطقة الاولى تقع بين الف والفين من الكيلومترات ، والثانية عند حوالي 25000 كلم . ان الروائز الفضائية ، وحديثاً الاقمار الصناعية

ذات المدار الخارجي جداً (البعيد عن المركز) التي كان هدفها الأول الرياضة ، كان ضمن برنامجها دراسة المنطقة الثانية ، والبحث عن مناطق أخرى ممكنة ، أبعد من ذلك .

في مجال الجيوديزيا ، أمكن الحصول بسرعة على قيمة التسطح الأرضي ، بشكل أفضل من الشكل المستخرج بواسطة القياسات الطويلة والدقيقة عن الكرة الأرضية . وقد ربطت بالشبكات القارية جزر بعيدة .

نذكر الانجاز العظيم الذي حققه لونيك 3 (تصوير السطح المقابل للقمر) ، نذكر أول استكشاف عن قريب لكوكب (ماريير الثاني قرب الزهرة) والطيران المتعدد باتجاه القمر بواسطة رانجرس Rangers (1962) وقد تحطم أحدها في القمر بعد لونيك الثاني في أيلول 1959 . نذكر أخيراً أنه تضاف إلى النتائج الرائعة العلمية العمليات النافعة التي قامت بها سلسلة تيروس ، وتلستار ، وريلي ، التي استفاد منها العالم كله ، للاستنتاج بأن الاقمار الصناعية مدعوة لمستقبل يمس أكثر فأكثر حياتنا اليومية .

XIV - الكوسمولوجيا (علم وصف الكون)

والكوسموغونيا (أو علم تشكل الكون ونشأته)

تصف الكوسمولوجيا الكون في حالته الحاضرة وتبحث عن القوانين التي تحكمه . أما علم الكوسموغونيا فيدرس الشروط التي سادت ولادة الكون . وتطوره ، كما ترصد مستقبله .

من حيث المبدأ ، ان هذين الفصلين من علم الفلك منفصلان بوضوح . الاول يقوم على رصد دقيق للظواهر وينتهي باعلان قوانين دقيقة ؛ انه فصل علمي خالص . اما الاخر فله مذهب أو مسار أقرب إلى الفلسفة ، وأكثر ان يكون احتمالياً . ان الكوسموغونيا ، حين تبحث في ماض أو مستقبل بعيد جداً ، فانها تكتفي بحلول احتمالية ، حول الحالة الحاضرة من معارفنا ، وتستطيع أيضاً أن تقترح حلولاً عدة ؛ فقد ساد التردد ، مثلاً ، في التشخيصات المتعلقة بمصير الأرض . فهل هي معدة لموت بارد ؟ أو هل تفتى البشرية ، بالعكس ، بفعل ارتفاع حرارة الكرة الأرضية ؟ في الماضي كانت الحالة الاولى هي المحتملة . اما اليوم فيميلون إلى الحل الثاني [أي فناء الكون بالحرارة] . فالشمس معرضة لأن تصبح ، بعد مليارات من السنين ، نجمة كبرى حمراء . ولكن الشكوك حول هذه الاحكام عشوائية وكثيرة ، لانها لا تحسب أي حساب للحوادث الطارئة (فالتصادم ، وان كان غير محتمل ، الا انه غير مستحيل بشكل مطلق) والتي تتركز على معرفة ما تزال غير كاملة للتفاعليات النووية ، ولخصائص كواكب مثل الشمس .

وكلمنا قلت معرفتنا بالعالم ، كلما سهل علينا تفسيره . ان الشعوب البدائية ، والناس البسطاء يخوضون في علم نشوء الكون (كوسموغونيا) براحة أكثر مما يتكلمون في علم الفلك .

ان الكتب المقدسة ، في كل الاديان ، تركز على كوسموغونيات بسيطة إلى حد ما ، كان الناس في القديم يأخذونها على حرفيتها ، أما اليوم فتأخذها السلطات الدينية باعتبارها رموزاً .

ان تطور الافكار حول الكون ، بخلال التاريخ البشري ، سلك مسلكاً عجيباً لدرجة انه أثار الشكوك حول الفرضيات الكوسموغونية .

إلا انه ، اذا كان التمييز بين الكوسمولوجيا والكوسموغونيا ، له ما يبرره ، عندما ننظر إلى المجال السماوي الاقرب إلى الارض (مثلاً ، عندما يتعلق بالامر بالنظام الشمسي ، او عند اللزوم ، بمجرتنا) ، نزول الفروقات ، بعد ذلك ، عندما ندرس الاقسام الاكثر بعداً في الكون ، هذه الاقسام التي اصبحت اليوم في متناولنا .

ان الاشياء الاكثر بعداً ، والتي قيس مسافتها سنة 1963 ، تقع منا على مسافة تعادل تقريباً مليارات السنين الضوئية . ومن بين الصور الضعيفة للمجرات البعيدة التي سجلت في جبل بالومار توجد صور أكثر بعداً . وما تزال تنتظر أيضاً ساعتها من أجل بلوغ الهدف - على عشرة مليارات سنة ضوئية مثلاً .

الواقع ، اننا نرصد هذه المجرات في الحالة التي كانت عليها منذ خمسة أو عشرة مليارات سنة . ان الرسالة الضوئية تعطينا صورة عن ماضٍ بعيد . وقد دخل عنصر الوقت تلقائياً في علم الفلك الوصفي (كوسمولوجيا) : ان نفس الكليشة تحمل صوراً يتسلسل عمرها بين صفر ومليارات السنين . ان هذه الفترة من الزمن ليست جديرة بالاهمال على الصعيد الكوسموغوني : ان الارض ليست موجودة الا منذ 4,5 مليار سنة ، وعمر شمسنا يتراوح بين 5 و6 مليارات سنة ، ومجرتنا بالذات ، وهي شيء مختلف التكوين وذات حلقات معقدة ، لم تكن بعد قد تكونت بخلال أكثر من اثني عشر ملياراً من السنين .

لنقل ، حالاً ان بعض الفلكيين يميلون إلى سلم للزمن اطول بكثير بالنسبة إلى المجرات . فبدلاً من تطور تدريجي ، يرتؤون وجود تفاعليات (حتى الآن غير مثبتة) حفظت هذه الكتلة الكوكبية في حالة ثبوتية ، وذلك ببث مادة جديدة أو عن طريق اعادة تذيب كواكب شاخت في اتون البؤرة المركزية . ان غالبية المتخصصين لا يوافقون على هذه المفاهيم الجريئة ، ولكن المثل يكفي لتبيين انه لم يعد بالامكان فصل الكوسموغونيا عن الكوسمولوجيا . ان زيارتنا تذهب بعيداً لدرجة انها تضع تحت اعيننا حالات تتدرج على طول مدة الحياة التي نعزوها للنجوم العادية الطبيعية .

إن النجماهير الواقعة تحت الرصد من المجرات البعيدة جداً تنتمي حتماً إلى أجيال سابقة على الاجيال التي نرصدها ضمن مجرتنا . ان لون هذه المجرات ، وصفاتها الطيفية ، وحركتها وديناميتها عندما نستطيع تحليلها ، تعلمنا الكثير عن الماضي البعيد لدرب المجرة ، مجرتنا . فضلاً عن ذلك ، واذا كان الفضاء ، كما يظن الكثيرون ، في حالة توسع ، فانه يتوجب علينا أن نجد الاشياء البعيدة اكثر التصاقاً فيما بينها ، وذات كثافة أكبر في الفضاء . إن احصاء صور المجرات ، ذات الضخامة المتزايدة (أي ذات البريق الاكثر فاكثراً ضعفاً) يجب - في السنوات المقبلة - ان يستخدم كرائز للفرضية الكوسموغونية الاكثر عظمة ، فرضية الكون في حالة التوسع . ان المصادر الضوئية البعيدة ، التي تتماهى مع المجرات المتوهجة (في حالة الاصطدام أو في

حالة التوليد) تعطي مؤشراً إيجابياً يدل على هذا التنافر الظاهر في أعماق الفضاء ، تنافر ينم عن ماضٍ بعيد .

إن الكوسمولوجي ، بدون أن يحس ، ودون أن يريد ، قد أصبح ، في أيامنا ، كوسموغونيا مناضلاً ، رغم المخاطر ورغم المنازعات التي يحتملها هذا المجال . ويمكن الفرع بذلك : ان هذا يدل على ان الكوسمولوجيا التي كانت في الماضي أيضاً موضوع فرضيات غير مؤكدة تماماً ، وموضوع طروحات شخصية ، قد أصبحت مجالاً لعلم حق . اننا ما نزال في البواكير : وإذا استثنينا المستحدثات (النواقل) ، فان البراهين الاولى المحددة حول تطور الأجسام السماوية ، والسمات الرئيسية لهذا التطور وتفسيرها النظري ، هي مكتسبات من العشرين سنة الماضية أو بالكاد تكون كذلك .

إن الشكوك ، في الساعة الحاضرة ، وخاصة الشكوك المتعلقة باتساع الكون ، سوف تزول في مستقبل قريب . لا شك ، ان الألفاظ اليوم سوف تتبدل باخرى ، ولكن وضع الكوسموغونيا قد تغير جذرياً بسببها : ان عالم الفلك قلما كان ميالاً في الماضي إلى الجدل فيها . ألم يقدم لابلاس ذاته فرضيته الشهيرة الكوسموغونية مقرونة « بالحذر الذي يجب أن يوحيه كل شيء ليس نتيجة الرصد أو الحساب » ؟ ورغم هذا التحفظ المسبق ، فان فرضية لابلاس ، بعد قرن من الشهرة الاسطورية ، هي القسم الأكثر ضعفاً ، والأكثر اهتزازاً ، في عمله ، رغم صحة الظاهرات التي انطلق منها للعودة إلى أسبابها ، ورغم دقة الاستنتاجات الميكانيكية . ان الفيزياء ، في أواخر القرن الثامن عشر ، لم تكن مؤهلة لأن تقدم له دعماً جديداً ، كما ان ظاهرات جديدة قد أفسدت عمومية ركائزه الانطلاقية (اكتشاف الدوران التفهيري (إلى الوراء) مثلاً) . واليوم ان تقدم الكوسمولوجيا ، والكوسموغونيا يتبع من قريب جداً تقدم الفيزياء الطليعية ، التي بها تنمى الفيزياء النجمية غالباً .

تذكير - حتى القرن الثامن عشر ، قام علم الفلك على دراسة النظام الشمسي ؛ فالكواكب وتربياتها ، اللامتغيرة ظاهرياً ، قد لعبت دور نقطة الارتكاز ، ودور شاشة العمق ، بالنسبة إلى مسار المشهد الاساسي القائم على تحركات الكواكب السبعة المتحركة - وهي العناصر الوحيدة المعروفة ، حتى ذلك ، في النظام الكوكبي .

وانه ، في حوالي منتصف القرن الثامن عشر ، قد ظهرت المحاولات الاولى من اجل تفسير الكون النجمي : وكانت هذه المجالات من صنع الفلاسفة ، والعقول المفتوحة على العلم ، انما من غير المتخصصين في علم الفلك . وكان من الطليعيين توماس رايت (نظرية اصيلة أو فرضية جديدة حول الكون 1750) . ثم نشر على بحث الفيلسوف الشهير امانويل كانت E. Kant « التاريخ الكوني للطبيعة ونظرية السماء » (1755) الرامي إلى تفسير بناء الكون ، سنداً لمبادئ نيوتن . كان كانت قد قرأ وأعجب برايت . وأخيراً جاء جوهان هـ . لامبير في كتابه « رسائل كوسمولوجية » (1761) . وقد اتفق هؤلاء المؤلفون الثلاثة على اعتبار درب اللبانة ، وهو تجمع قوي للنجوم ، وكأنه العنصر البنيوي الاساسي . لقد فهموا بأن أنظمة النجوم المرئية ، ليست شريطاً ، ولا حلقة ، بدون سماكة كبيرة ، بل هي تراكم عميق مسطح ، بشكل صحن ، قطره أكبر بكثير من

سماكته . وتصور الثلاثة جميعهم وجود أنظمة مشابهة معزولة ، تأهل الفضاء اللامتناهي .

كوسمولوجيا النظام الشمسي - الاعتراضات على النظريات الكلاسيكية - فضلاً عن ذلك طور كانت أيضاً ، حول ولادة النظام الشمسي ، افكاراً قرنت فيما بعد بأفكار لابلاس ، فأحدثت تأثيراً طويلاً ممتداً . ولكن كانت Kant ارتكبت عدة اخطاء في الميكانيك الاولى ، كان لابلاس قد تجنبها طبعاً . فقد انطلق من سديم لا شكل له من الغاز النادر ، فافتراض انه نحت تأثير الجذب الكوني وحده ، يمكن لهذا الغاز ان يتكثف بشكل نجوم : الواقع ، ان جزينات الغاز تبعثر في الفضاء بدلاً من ان تتجمع . واعطى لابلاس لنفسه ، وبصورة مسبقة ، منطقة مركزية كثيفة ، كان جذبها يتيح استمرار وبقاء النظام .

فضلاً عن ذلك لم يزود كانت بسديمه الاساسي باي دوران اصلي . ولو لم تكن « عزوم الدوران » محفوظة ، عندما لا يأتي أي عامل خارجي عن النظام فيخربها (مبدأ الجمود) ، لكان نظام كانت عازياً من الدورانات . فضلاً عن ذلك تبقى الدورانات تضايق ، حتى في نظام لابلاس ، لان الشمس التي تستقطب 99% من كتلة النظام بأكمله ، لا تدور حول محور عامودي فوق السطح الوسط ، سطح المدارات النجمية ، كما كان هو المتوقع قديماً . ان ميلها هو بمقدار سبع درجات فوق هذا السطح ، وهو امر ليس بالقليل الذي يهمل . ومن جهة أخرى ، تتوزع لحظات الدوران توزعاً غريباً فريداً في النظام الشمسي الحالي . ان الشمس ، الكثيفة الكتلة جداً لم تحتفظ الا بثلاثة بالمئة (3%) من عزم الدوران الشامل والأساسي لأنه يبقى ويحفظ ، في حين ان الكواكب ، التي تمثل اقل من واحد على سبعمائة من الكتلة الاجمالية ، تمتلك 97% من عزم الدوران الاجمالي . ان تفاعلية التقلص البطيء والمتنظم في سديم لابلاس لا يمكن ان تعبر عن هذه المفارقة⁽¹⁾ .

ومن اجل معالجة هذه المفارقات افترض العديد من علماء نشأة الكون ، التدخل الكارثي نوعاً ما ، تدخل كوكب أو عدة كواكب مخربة ، عند نشأة النظام : صدمة أو نصف صدمة بنجمة أخرى ، ولدت انواء قوية ، أو تدخل كوكب توأم ، أو تدخل نجمة مثلثة ، الخ . ويقدم الخيال عدداً غير محدد تقريباً من التركيبات ، القليلة الاحتمال طبعاً ، والقليلة الضرورية هي الأخرى .

وهناك حجة معاكسة لفرضية كانت - لابلاس ، ولفرضية الانواء أيضاً ، وهي الميل إلى التشتت الغازي . ان الاضطراب الحراري يمنع تركيز حلقة أو خاتم من الغازات ذات الكثافة الضعيفة ، وبصورة أولى ان مذنباً filament ذا درجة عالية من الحرارة منفصلاً عن الشمس ، بتأثير من موجة هائلة ، يشتت في اللحظة تقريباً في الفضاء بدلاً من ان يتجزأ ومن ان يتخثر بشكل كواكب .

(1) من المفيد جداً ان نلاحظ ان المفارقة لا تتكرر في الانظمة الجزيئية التي تشكلها الكواكب وتوابعها . ان التوابع الكثيرة العدد ، بالنسبة الى (المشتري) أو الى زحل ، لا تمتلك الا عزم دوران شامل ضعيف جداً بالنسبة الى عزم دوران كوكبها .

وفي أيامنا ، يفضل العلماء البحث عن تنظيم النظام الكوكبي انطلاقاً من شمس أولى Protosoleil ، انطلقت من وسط مكون من جزئيات جامدة متحركة في جوارها ، ومزودة أولاً بالدوران الضروري .

وهناك عدة نظريات حالية (فون ويزساكر ، كوير) تتفادى العثرات السابقة ، تحاول ان تأخذ في الحسبان ، أيضاً ، الصفات الرئيسية البارزة ، مثل قانون المسافات الكوكبية بين تيتيوس - بود (راجع مجلد III) . ولكن هذه النظريات ، تأخذ الجانب السهل الجميل ، حين تنطلق من حالة أساسية ، شديدة التماسك ، وولادة الانظمة الثانوية (التابعة) تقرر فيها بشكل قلما يرضي .

والخلاصة ، فيما يتعلق بالنظام الشمسي ، اذا كانت الكوسموغونيا ترى ، منذ الآن ، العقبات التي يجب تفاديها ، فان أي حل مرضٍ تماماً لا يفرض نفسه بعد ؛ ان وجود النظريات المعارضة والظهور الكثير لاقتراحات جديدة يدل تماماً على ان المسألة ما تزال مفتوحة .

الكوسمولوجيا ذات المستوى الكبير - مجرتنا - بين 1780 و 1820 ، ازالتم أعمال وليام هرشل الشك عن تصور « رايت - كانت - لامبير » حول مجرة عميقة جداً ، هي تجمع مسطح من النجوم ضمن قرص إبطاه الظاهر ، بالنسبة إلينا نحن الغارقين فيه ، له مظهر طريق المجرة ، مع ما فيه من كل النجوم ، ومساحاته الممتعة ، وسدائمه البراقة حيث يشتعل الغاز الكوني ، وتفارقه العميق . وأوضح و . هرشل - بواسطة ريزاته الاحصائية ، من ضخامة إلى ضخامة أو من مرتبة إلى مرتبة ، على كل امتداد السماء والتي سماها « المعايير » - بواسطة اعداد ، التراكم التصاعدي للأنجم الرقيقة - المتزايدة البعد - نحو السطح الأوسط للدرب التبانة (مجلد III) .

ولكن كان لا بد من الانتظار حتى سنة 1918 لنرى بروز تقدم جديد أساسي ، غير متوقع ، وذو مدلول كبير ، فلسفياً وفلكياً . وبواسطة الكتل الكروية ، تنويع المجرة ، بعدد متساو في الشمال وفي الجنوب من أسطحها ، ولكنها تتراكم باتجاه القوس ، توصل هارلو شاپلي Shapley الى تحديد موقع وبعد مركز الثقل أو الجذب في هذا التجمع الضخم الذي تشكله مجرتنا . وقد لفتت نيتيجتان رئيسيتان العقول :

1 - ان الشمس تبعد 30 000 سنة ضوئية عن المركز - فهي اذن نجمة هامشية ضمن المجرة . والمظهر التناظري نوعاً ما في الحلقة المجرية ، على طول الدائرة الكبيرة في الكرة السماوية ، قد ولد الفكرة بان الشمس كانت نجمة مجاورة للمركز . ان « مذهب المركزية البشرية » anthropocentrisne الذي نقول به طبعاً قد تقبل ببساطة هذا الوضع المميز ، المستوحى من الظواهر . وبضربة واحدة ، كان لا بد من الرضى بوضع قليل الامجاد ، شبه هامشي ، لم ينسأ به اي مقياس أو معيار ، قديم أو حديث . ان كل الاحصاءات الكوكبية في القرن التاسع عشر والعشرين توحي بتراجع وتضاؤل الكثافة الفضائية في النجوم ، في كل الاتجاهات . ونحن نعرف منذ 1930 ان امتصاص الضوء ، بواسطة الغبار الموجود بين الكواكب ، هو السبب الرئيسي في هذه النتيجة الكاذبة . ومن جهة أخرى ، عين شاپلي مكان برج القوس

وكأنه الكوكبية حيث يقع - توقعاً - مركز المجرة .

2 - ان قطر المجرة هو من مقياس 100 000 سنة ضوئية - وهذه النتيجة الثانية (المصححة والمحيرة من تأثير الامتصاص بين النجوم) تدل على مقدار الضخامة غير المتوقعة في التجمعات الكبرى من النجوم . حتى تلك الحقيقة ، كان مقياس الضخامة (10 000 سنة ضوئية (a.l) يدل على اقصى مدى للاستقصاءات الاكثر تقدماً .

ان نتائج شاپلي قد تأكدت بعد مضي عشرين سنين بفضل الثبت من الدوران المجري . ان الهولندي يان اورت Jan Oort قد بين ان الشمس تدور ، كدائرة بسرعة 215 كلم في الثانية حول مركز عيْنه شاپلي ، على بعد 8.2 كيلو بارسكس (حوالي 28000 سنة ضوئية) .

ان هذه السرعة الدائرية تكفي لتحديد مقدار ضخامة الكتلة الشاملة للمجرة (مع التسجيل بان جذب هذه الكتلة على الشمس يتوازن مع القوة الدافعة نحو المركز في الدوران السابق) . ونجد 200 مليار مرة كتلة الشمس .

ان البحوث الحديثة - المرتكزة بصورة رئيسية على علم الفلك الاشعاعي (راديو استرومومي ، الخط من 21 ستم من الهيدروجين الحيادي) - قد أتاحت توضيح مرسوم عدة لولبات ، حيث الكثافة الغازية والنجمية هي أكثر وأكبر مما هي في الفرجات الواقعة بينها . وهكذا تأخذ مجرتنا مكاناً ضمن عائلة المجرات اللولبية ذات الصور الرائعة الملحوظة .

ان عائلة المجرات تاهل الفضاء - انه في سنة 1924 فقط ، استطاع هوبل Hubble ، - بعد ان فكك الى نجوم اللولاب في جارتنا الكبرى ، مجرة مسييه 31 Messier في الأندروميد ، - ان يضع حداً لمجدال طال زمانه حول الطبيعة الحقة لهذه الاشياء اللولبية . ان ضخامة مجرتنا ، قد أوحى للبعض ، بانها تستطيع وحدها ، ان تشكل الكون . وقد اعتقد هذا البعض ان اللولاب هي سدائم داخلية في المجرات . وقد دلت كليشيهات هوبل بشكل اكيد ان مسييه 31 ذو بنية نجمية مشابهة لبنة درب التبانة عندنا ، بل والله اعنى وأكثر تعقيداً أيضاً . وبواسطة عدة نجوم متغيرة اكتشفت فيه ، حدد بعده بمليوين من السنوات الضوئية . وهذا البعد هو اكبر بقليل وأكثر كثافة من مجرتنا .

والآن نحن نعرف ان الفضاء ، مهما تتبعته ابصارنا ، والتصوير الفوتوغرافي ، والمراسد الضوئية مأهول بمجرات ذات أشكال متنوعة : شبه اكريه ، أولولبية أو غير منتظمة . وتتجمع المجرات عشوائياً في مجموعات صغيرة أو كتل ، أو ضمن تجمعات واسعة مؤلفة من عدة الاف من الوحدات . ان ساكنات الفضاء غير متساوية على الصغيد الصغير . ولكن إذا نظرنا إلى مجالات كافية نظرة تهمل التجمعات المحلية ، فان ساكنات الفضاء من المجرات تبدو منسجمة وموحدّة الخواص . وفي مطلق اتجاه لا يوجد لدينا انطباع باننا نقرب من مركز أو من طرف .

في هذه المرحلة ، من المستحسن اعطاء الثقافة إلى المفاهيم الاولى لدى الاقدمين ، الذين اعطوا للدائرة وللكرة الاولى في مجال علم الفلك الوصفي . ان الوحدات عند عالم الفلك هي

المجرات ، حيث لا مكانة للكرة . وبدلاً من الكرة الجامدة والمغلقة تماماً في القبة الزرقاء ، حلت فكرة تتبع نموذج محتمل للكون في غير أو مستودع الجيومترية غير الاقليدية .

خُيّد طيف المجرات وثابتة هوبل - ان الحركة الشعاعية في كوكب ما بالنسبة إلى الراصد تقتضي تنقلاً في الطيف ، تنقلاً يتناسب مع السرعة الشعاعية المتعلقة بالشئ . وإذا كان هذا التنقل هو هرب ، فالخيد يحصل باتجاه الطرف الاحمر من الطيف .

ان اطراف المجرات تعطي خيداً $\Delta \lambda$ نحو الاحمر ، كما لو كانت تهرب من الراصد ، اي من مجرتنا بالذات . ويمثل الخيد اول الامر صفات الاثر الكلاسيكي المسمى اثر دوپلر - فيزو (خاصة ان $\Delta \lambda / \lambda$ يكون مستقلاً عن طول موجة λ المختارة ضمن الطيف - والتحقيق هو بالتاكيد في حدود 1% تقريباً) .

ولكن الخيد يمثل أيضاً خصوصية مذهلة : انه يتناسب مع بعد المجرة المنظورة ، كما لو كانت المجرات تهرب بسرعة تتناسب مع بعدها عن الراصد .

وانه من المسموح به دائماً ان نصف الخيد نحو الاحمر بصيغة السرعة التي تتطابق معه اذا كان الامر يتعلق بمفعول دوپلر - فيزو العادي . ولكن ، وللتذكير بان الامر يتعلق بالواقع بظاهرة اكثر تعقيداً ، حيث يتدخل البعد (الذي يستقل عنه مفعول دوپلر العادي) ، نسمي هذه السرعة الرمزية « سرعة الانحسار » .

واكتشاف الظاهرة الاساسية يستحق بعض التوسيع .

كان الرائد في هذا المجال و . م . سليفر ، في فلغستاف (اريزونا - الولايات المتحدة) ، الذي قاس ، بين 1912 و 1922 ، اثنتي واربعين سرعة شعاعية لمجرات ، وعرف بانها كانت إلى حد بعيد ايجابية (سرعة الهرب) ، والذروة في هذه الحصة كانت + 1800 كلم في الثانية .

وتفسر بعض الشذوذات (السرعات السلبية ، والاقترابية) فيما يتعلق بمجرات مجاورة ، بفعل دوران مجرتنا : وهكذا تقترب « مسيه 31 واندروميد » من سرعة 300 كلم / ثانية ، خاصة لان الدوران المجري يحملنا باتجاهه بمعدل 200 كلم / ثانية تقريباً ، والباقي وهو 100 كلم / ثانية يعزى إلى انتقال نسبي لمسيه (M. 31) ، ولمجرتنا ، ضمن المجموعة المحلية من المجرات .

وعندما اكتشف هوبل سنة 1924 سيّدييات (شبه اكر) في المجرات المجاورة ، عكف على قياس ابعاد كل السدائم التي حصل سليفر Slipher على سرعتها الشعاعية - وذلك حين غير النجوم العملاقة في هذه المجرات . وفي سنة 1928 ، نشر قانون الانتقالات الطيفية المسمى اليوم « قانون هوبل » ، والمعتبر عموماً « كعلاقة بين البعد والسرعة » .

ان الخيد يتناسب مع المسافة او البعد . ويقول آخر : ان سرعة الانحسار تتناسب مع البعد . وسرعة الهرب في كتلة فيرغو Virgo هي بمعدل 1240 كلم / ثانية (قيمة مقررة اليوم بمعدل 32) سرعة شعاعية للمجرات التي هي جزء من الكتلة . وعزا هوبل الى هذه الكتلة مسافة تعادل 8 ملايين سنة ضوئية .

نحن نعرف اليوم بان المسافات التي عثر عليها هوبل كانت وسطياً سبع مرات أصغر - في حين ان السرعات ظلت ثابتة . ان ثابتة الانحسار تبدو قريبة من 25 كلم / ثانية (بدلاً من 160) في السنة الضوئية كبعد أو مسافة . ان المؤلفات أو المذكرات المتخصصة تشير إلى 75 كلم / ثانية / ميغا بارسك (والميغا بارسك = 3,26 مليون سنة ضوئية) .

وفي الوقت الحاضر ، امكن تحديد سرعات شعاعية لاكثر من الف مجرة : وهذه السرعات تسدرج ، في سنة 1962 بين صفر و 150 000 كلم / ثانية (نصف سرعة الضوء) ؛ ويبقى القانون خطياً ، في حدود الثغرات والنقص في قياس المسافات ، وهي ثغرات ضخمة خاصة عند الاقتراب من حدود قدرة الآلات على الادراك . والقانون معني بكل انماط المجرات وبكل اتجاهات السماء .

ان القيمة التي اشرنا اليها فيما يتعلق بقانون هوبل يمكن ان تقبل بصورة مؤقتة باعتبارها الافضل ، بانتظار تغير اكيد قد يتأخر تحققه عدة سنوات . وهذه القيمة قد تستبدل عندها بقيمة مزوجة أو ينصف قيمتها : ويجدر العلم المسبق بها .

المسألة الفلكية - ان مسألة شكل اجمالي ، ومسألة بنية جيومترية للكون ، تطرح نفسها كما مسألة شكل الارض . لاول وهلة ، ان تربة الارض تبدو كسطح ، تشوّه هنا وهناك اغوار وحذبات . وان اعملنا هذه التضاريس المحلية ، وان سويتنا السطح ، نلاحظ ان الارض مزودة باحدب اعم وبانغلاقها على نفسها ، فانها تبدو كسطح كروي ، او في التقريب الثاني ، كسطح بيضاوي .

ان المادة النجمية قادرة ، ونحن على يقين من ذلك ، ان تفسد خصائص الفضاء الفيزيائي ، أو بالاحرى افساد الفكرة الخاطئة التي نكوّنها عن فضاء مثالي . في جوار الشمس ، ليس الفضاء اقليدياً [نسبة الى اقليدس] : ولا يمكن التثبت بذلك الا بفعل العناد الاعمى . وبصورة تدريجية ، حول الكواكب ، نعر على انحناءات متنوعة تتناسب مع الكتل المختلفة ومع درجة تركّزها .

ولكن اذا تجاوزنا هذه الاحديديات المحلية ، الا يوجد احديداب عام في الكون ؟ ان المادة التي تغطي الكون بمجمعه هل هي عاجزة عن تكبير ما تصنعه كل حبة من مادة حول نفسها ، وعلى مستواها ؟ ونحن ، ما هو السبب الذي يحملنا على ابتغاء الاحتفاظ برسمة للكون اقليدية ولا متناهية ، مسبقة ، عندما نلاحظ وتؤكد ان الفضاء ليس اقليدياً حول كل نجمة ؟

الحل الانشيني - وكان لا بد من اصطلاحات تبسيطية ، من اجل محو الحذب المحلية ، فافترض انشيتين مادة النجوم مشتتة في الفضاء وموزعة بشكل موحد . ويقول آخر ان البحوث سوف تنصب على ضياب غازي ذي كثافة ثابتة .

ولكن ما هي القياسات ، وما هي الجيومترية التي تسود في هذا الكون الرسمي ، إذا نحن تمسكنا بقوانين النسبية العامة ؟

لقد أخذ انشتين بصغر سرعات النجوم تجاه مرعة الضوء (وكان العلماء يومها يجهلون مظاهر حرب المجرات) فافترض عدماً ، الاضطراب الوسط في ضبابها ، وفتش عن حل « ثابت جامد » ، اي قياس مستقل عن الزمن اي ايضاً : عن نموذج مستقر وثابت . ولحسن الحظ ان الفضاءات المتسقة الموحدة الخصائص الملائمة لقوانين الجذب النسبوي عدها ثلاثة : الفضاء الاقليدي (نسبة إلى اقليدس) ، الذي يظهر في حديثه المعدومة ، امام الفيزيائي الحديث كحالة خاصة قليلة الاحتمال جداً ، ثم فضاء لوباتشيفسكي Lobatchevski (اطار أول هندسة غير اقليدية) ، وأخيراً الفضاء الكروي ذو الانحناء الثابت الايجابي ، المغلق (الذي يشكل الغشاء لكرة عظيمة ضخمة) .

في سنة 1917 بين انشتين ان الحل الثالث وحده يلائم المسألة كما طرحها ، ونشر معادلات نموذجة الثابت . حيث كانت كثافة ضبابه p هي المجهول الوحيد (كثافة يجب الحصول عليها بفضل الرصد والملاحظة) . وتبعاً لـ F يتحصل بسهولة شعاع R الكرة الهائلة وكذلك كتلة الكون M . ولكن قيمة p ما تزال قابلة للجدل الكبير - واهمية النتائج التي توصل اليها انشتين تتمثل اذا كانت فرضية النموذج المستقر والجامد غير صالحة .

الكون في حالة انتشار - في سنة 1922 ، اكتشف آ . فريدمان Friedmann ان المسألة الكوسمولوجية تتضمن عدداً غير محدود من الحلول ، إذا تم التخلي عن فرضية الكون الجامد . ان نماذج متنوعة من الاكوان تتلاءم مع المعادلات التي وضعها انشتين حول الجذب ، اذا كانت « مقاييسها » تتغير تبعاً للزمن . وبصورة خاصة ، ان النماذج المغلقة (الكروية العظيمة أو البيضاء) يمكن ان يكون لها « شعاع » أو بصورة أولى انحناء شامل متغير مع الزمن .

اما النماذج المفتوحة (الشديدة التحدب ، هيبربولية ، [القطعية الزائدة] ، أو الشبه اقليدية) فتمتد إلى اللانهاية ، ولكن المسافات المتبادلة في مجراتها تتغير باستمرار .

ان الترابط الملفت بين هذه النتيجة النظرية وظاهرة الهرب الكوني للمجرات ، بقي لمدة طويلة غير معروف ، وغير مؤثر . في سنة 1927 قام الأباتي جورج لومتر Lemaitre بوضع نموذج حيث كانت النظرية والرصد بأن واحد ، مرصدين ومتوافقين . ولكن هذه المحاولة بقيت بدورها طي النسيان حتى جاء اليوم الذي امن لها ادينغتون فيه الدعاية والاعلام الواسعين ، حوالي سنة 1930 . ومع لومتر من المستحسن ذكر العديد من الرواد الآخرين ، في مجال الكوسمولوجيا الناشئة ومنهم : روبرتسون (1928) ، هيكممان (1931) انشتين وسير (1932) ، وطولمان (1934) ، الخ .

ان نظرية المقاييس المتغيرة ، تتيح تقلصاً كما تتيح توسعاً . ان الرصد هو الذي يوجها الاختيار نحو التوسع . وتوسع الكون هو من خصائص المقاييس والفضاء ، لا من خصائص المجرات ، التي تعطي سرعة ذاتية معدومة ، في زاويتها من الكون ، بالنسبة إلى جاراتها ، من اجل حساب التراجعات المتعلقة برأصد معين .

ان هذه النظرية ، رغم درجة التجريد الذي تقتضيه ، وكذلك الجدة الثورية في خصائص الفضاء بين جزائر المادة ، قد كسبت المؤيدين الكثر عندما بين ادينغتون سنة 1930 ان الكون الجامد الذي قال به انشتين ، غير مؤهل الاتوازن غير مستقر . وقد وسع و . هكمان هذا البيان على كل نماذج الكون المقترحة بما فيها الكون الاقليدي ، اللامتناهي ، والذي قال به نيوتن سنة 1942 .

من الشرعي إذن الظن بان الانحراف نحو الاحمر في ضوء المجرات يترجم هذه الخصوصية العامة .

ولكن من المؤكد ان نماذجنا الحالية للكون هي من الاكثر بدائية . وهي لا تستفيد اطلاقاً من الإمكانيات المقدمة بفضل الهندسات الريمانية ذات الأبعاد الأكثر من ثلاثة ، والتي تختصر الواقع بشكل عشوائي .

فالمغناطيسية الكهربائية ليس لها حساب فيها ، وكذلك الخصائص النووية . ان انشتين وبعضاً من تلاميذه لم يتجحوا بشكل مقنع في محاولاتهم لوضع « نظرية وحدوية » ، فيما تبنى هندسة عليا ، وبأن واحد عن الجذب وعن الخصائص المغناطيسية الكهربائية في الكون . ان معارفنا في مجال الفيزياء وفي الرياضيات ما تزال بحاجة إلى التطوير لكي يصبح التركيب المحتمل ممكناً : ان المسألة لما تتضح بعد .

وكذلك ، لمواجهة الملاحظة بالنظرية ، اننا نحتاج ان نعمق معرفتنا بالمجال الذي سبقت رؤيته ، ثم توسيع هذا المجال الحساس . لان كل المعايير المقترحة من اجل الاختيار بين النماذج المختلفة المنشورة حالياً ، لا تقدم تمييزاً واضحاً الا من مسافة بعيدة جداً : في حدود استقصاءاتنا الحاضرة ، لا تتميز النماذج المطروحة عن بعضها بشكل ملحوظ . ويطرح السؤال ، فضلاً عن ذلك ، حول معرفة الى اية درجة تعتبر العينة من الكون المتوفرة تحت عينتنا متميزة . في الوقت الذي كان فيه « نظام العالم » يعني نظاماً كوكبياً ، كانت القبة الجامدة للسماء تكفي لكبح الطموح . وفي الوقت الحديث ، عندما اصبح وجود المجرات بالذات غير اكيد ، وعندما شكلت زمر نجوم طريق المجرة ، اساس ادراكاتنا ، فان المسألة المطروحة اليوم لم تكن قابلة للتصور . والواقع انه منذ السنوات 1920 - 1930 ، حيث فتح الباب على عالم المجرات ، اصبح الفضاء المسور يقدر بعمليات السين الضوئية بدلاً من بعض الملايين ، دون ان يحدث تغيير في المشهد . لقد انتقلنا من بعض المجرات العملاقة ، المصنفة بدائياً ، إلى إمكانية احصاء مليارات الاعضاء من نفس العائلة ، وذلك من خلال تفحص الصور الباهتة حتى التكبير الرابع والعشرين فوق الكليشيات التي أخذت في جبل بالومار بواسطة التلسكوب ذي الفتحة البالغة خمسة أمتار ، وهي صور أكثر عدداً بكثير ، خارج طريق المجرة ، من صور النجوم ، المعترضة ، في كل مساحة من القبة السماوية .

ولدينا شعور بان سمات ما يأهل الفضاء سوف تبقى ، بعد الآن ، شبيهة بالسمات التي سجلناها . والعينة الحاضرة ، لا تقل استحقاقاً ولا إهمالاً اذا كان الكون لا متناهي . واذا كان الكون مغلقاً ، فان الوضع يكون افضل بقليل ، ولكن عيّننا لا يمكنها ان تصور الاجزاء بسيطاً من

كل ؛ من هذا نحن على يقين : ان الانحناء القوي قد سبق وتأكد .

ويظن بعض الفلكيين انه بدلاً من المجال المتوسع الذي نجد انفسنا بداخله ، قد يأتي مجال متقلص ؛ وهكذا دواليك تتعاقب المجالات كما تتعاقب العقد والبطون فوق وتر يتذبذب . وانه لمن الصعب جداً رد مفاهيم لم تتخذ بعد ، حتى الآن ، شكلاً دقيقاً ، ولا دعمتها اية واقعة حتى الآن .

لقد كثر اولئك الذين ينكرون تماماً وببساطة التوسع : ان عددهم يتقلص كلما ازدادت تجربتنا واعتنت . وطيلة عدة سنوات ، ولدت نظريات كل صباح ، او تقريباً ، تزعم انها تشرح اختلال طيف المجرات ، دون تدخيل للتراجع . وغالبية هذه النظريات كان كذباً صريحاً . وبعضها الآخر ، افضل تأسيساً في الظاهر ، قاوم بعض الوقت قبل ان ينهار . وفي ايامنا ، اعتقد انه بالامكان التأكيد بدون خطأ ولا اهمال - وبعد وضع التراجع جانباً - ان اي تفسير لطيف المجرات ، ثابت بالبراهين ، غير موجود . وبالطبع ، ما تزال تنشأ نظريات مناقضة ، بوتيرة بطيئة . ولكن الهجمات الفاشلة ، في الازمنة البطولية ، اعطت النظرية النسبية حول الكون قوة مطمئنة نوعاً ما بالنسبة الى انتصارها .

وافضل العلماء الفلكيين في الوقت الحاضر يقدرّون بحوالي مئة سنة المهلة الضرورية ربما لوضع نموذج مكنون ، حسن التركيز نظرياً ، مدعوم بمعرفة واسعة بما فيه الكفاية ، يستطيع ان يلائم العلم ربما بمقدار ما لاعمه النموذج الاقليدي الذي وضعه نيوتن . ان جيلنا لن يكون له الحظ السعيد في معرفة هذه النتيجة - ولكنه على الاقل سوف يعيش ولادة رائدة للعصر العلمي في مجال الكوسموغونيا أو نشأة الكون .

XV - علم الفلك الاشعاعي

1 - بدايات علم الفلك الاشعاعي

الطليعيون - انه بعد اكتشاف الموجات الهرتزية في آخر القرن التاسع عشر ، بدا سير اوليفر لودج Lodge اول من فكر ان الشمس يجب ان ترسل موجات هرتزية كما ترسل موجات صوتية . وعكف ديلاندر Deslandres ايضاً على هذه المسألة في مطلع القرن العشرين ، وجرب نوردمان Nordmann بعيد الحرب العالمية الاولى انما بدون جدوى ان يلتقط بثاً كهربائياً اشعاعياً من الشمس .

وبعد ذلك بحوالي خمسين عشرة سنة اتاح تقدم الكهرباء الاشعاعية انجاح مثل هذا المشروع .

الرواد - الفضل يعود إلى كارل ج . جانسكي Jansky ، المهندس في مختبرات شركة بل للتلغراف ، في اول رصد اشعاعي نجومى : وقد جاء هذا الرصد عرضاً بفعل فكير منهجي قوي الفراسة .

في سنة 1932 كان ك. جانسكي يدرس اتصالاً هرتزياً بين انكلترا وأميركا الشمالية . وكان يعمل على هوائي (اثنان) واسع نوعاً ما يتحرك على موجة طولها خمسة عشر متراً ، ولاحظ تزايداً ضعيفاً في ضجة عميقة (التشويش) في آلاته اللاقطة . ودون ان هذه الواقعة تحدث في كل يوم في نفس الساعة انما كل يوم يسبق موعدها بمقدار اربع دقائق ، موعد اليوم السابق ، واستنتج من ذلك الاصل او المصدر الكوكبي للإشارة التي يلتقطها : وهكذا رصد لأول مرة الاشعاع الهرتزي الآتي من مركز مجرتنا .

وكان الفلكيون مشغولين باهتمامات أخرى ، فلم يعيروا هذا الاكتشاف الذي نشر في مجلة للفيزياء ، كل الاهمية التي يستحقها : ورأوا ان هذا الاشعاع ذو منشأ حراري ، قليل الاهمية وبعد ذلك بحوالي عشر سنين طور اميركي آخر ، غ. ريبير Reber ملاحظات جانسكي .

كان غروت ريبير شاباً يعمل في الكهرباء بدون تخصص ، ودفعه ايمانه بالمصامية وولعه بعلم الفلك الشعبي لان يكون ، ربما ، الممثل الأكثر عفوية لعلم الفلك الاشعاعي . وصنع بنفسه ومن ماله الخاص في بلحة داره ، مرصداً اشعاعياً قطره 8 امتار . وضلّته التأويلات الخاطئة التي كان المحترفون يطلقونها عن الاشعاع المجري ، فحاول ان يستخدم مرآته على طول الموجة 10 سنتيمترات : وكان في عمله هذا يقوم بمحاولة قوية بالنسبة إلى عصره . ولم يحصل على اية نتيجة لان الاشعاع لم يكن ذا منشأ حراري ؛ فضلاً عن ذلك ، نحن نهمل لماذا لم يعتمد الى رصد الشمس مع استطاعته ذلك بسهولة ، وبالتأكيد . وأخيراً استطاع ، بواسطة جهازه المزود لموجة اطول ان يرسم اول خارطة مجرية للموجات الهرتزية التي اقترح بها هذه المرة كل الناس نظراً لاهمية ملاحظاته الرصدية .

ولاول مرة رصد ج. س. هاي Hey في انكلترا وج. ك. ساوثرث في الولايات المتحدة ، وبخلال الحرب ، الاشعاع الهرتزي الصادر عن الشمس على موجات قصيرة ؛ ولكن هذه الارصاد لم يكشف عنها الا في أواخر الحرب .

المقول النيرة - ان علم الفلك الاشعاعي ، ربما لانه علم جديد ، قام به أصلاً فرقاء من الشبان الفيزيائيين ذوي الثقافة العامة : ثقافة هواة الرادار ، بخلال الحرب ، هي علم يقوم على كثرة المبادلات والاتصالات الكثيرة بين مختلف العاملين فيه . ثم انه من الصعب في أغلب الأحيان فوز القسم الذي يعود إلى كل فرد ، من كتلة الاكتشافات المهمة التي تميز بها تطوره . علماً بأنه من الواجب ان نذكر بعض الأشخاص من ذوي العقول الثاقبة الذين فتحوا السبل الواسعة لانتشاره .

في المقام الاول يذكر ج. س. هاي ، ضابط راداري في انكلترا ؛ اثناء وبعد الحرب ، وبواسطة اجهزة قلما تختلف عن الاجهزة التي كانت تسمح له باكتشاف الطائرات الالمانية ، اكتشف هاي الاشعة المباشرة والمعجية الصادرة عن الشمس والتي رافقت الاضطرابات الجوية سنة 1942 ، كما اكتشف اول مصدر اشعاعي غير مجري ، وكذلك ظاهرات البريق أو اللعان في سنة 1946 ، وأخيراً الاصداء الرادارية لمذنبات النيازك ، في سنة 1947 .

ويذكر ايضاً ه. ك. فان دي هولست الذي تنبأ في سنة 1945 نظرياً ، بالخط 21 سنتيمتراً

الهيدروجيني ، هذا الخط الذي رصد بعد ذلك بـ 6 سنوات ، وبأين واحد تقريباً في هولندا وفي استراليا وفي الولايات المتحدة .

وأخيراً يذكر الفريق الاسترالي الرائع تحت اشراف ج . ل . بوزي Pousey ومعه ج . ج . بولتون Bolton وج . ب . وايلد Wild وب . ميلز Mills ، وو . ن . كريستيانسن Christiansen ، وج . ليشل Little ، الذي تميز عن الآخرين بأنه تصور ورسم غالبية انماط الأجهزة الرصدية المستعملة اليوم في مجال علم الفلك الاشعاعي مثل الكاشف البحري ، والكاشف ذي الهوائين ، والكاشف المتعدد الهوائيات وصليب ميلز ، والمسجل الطيفي الديناميكي .

وعلى طول التاريخ القصير لعلم الفلك الاشعاعي قدم عالمان روسيان الكثير من الافكار الجديدة في مجال التفسيرات النظرية . وهما : آ . س . كلوفسكي وف . ي . جنغسيورغ . ومع ذلك يبدو ان هـ . آلفين هو اول من خطرت له سنة 1950 ، فكرة عزو البث الاشعاعي الى اشعاع (سنكروتروني) مسرعٌ للالكترونات النسبوية ذات الطاقة العالية جداً . ان هذا التفسير لم يعد اليوم موضع شك ، ويبقى في اساس العديد من الابتكارات النظرية التي تدخل في ديناميك المجرات كما تدخل في نشأة الاشعة الكونية .

2- تطور الادوات والوسائل

تفتضي الارصاد الاشعاعية الفلكية استخدام انوات كبيرة ، ومجموعات متنوعة من اجل استخدام هذه الادوات . وازدهار هذه الارصاد قد ارتبط بانشاء مجهوعات مهمة كما ارتبط بنظر ادوات الرصد . وانه بفضل تقدم تقنية الرادار بخلال الحرب العالمية الثانية ، تم وضع الأجهزة الضرورية للارصاد الفلكية . ثم انه في الأصل ازدهر علم الفلك الاشعاعي في البلدان الانغلو سكونية ، حيث كان يوجد مجموعات من الفيزيائيين الممارسين المزودين بأدوات رصد مناسبة ، الذين اصبحوا جاهزين في نهاية الحرب : في انكلترا يذكر مختبر كافنديش في كامبردج وعلى رأسه م . ريل Ryle ، ومحطة جودرل بانك وعلى رأسها آ . ك . ب . لوفل Lovell ؛ وفي الولايات المتحدة هناك مختبر الابحاث البحرية ، وفي استراليا نذكر مجموعة كسيرو (C.S.I.R.O) في سدنبي برئاسة ج . ل . بوزي .

وفي اوروبا الغربية كانت هولندا الاولى بفضل ج . هـ . اورت Oort وهـ . ك . فان دي هولست Van de Hulst ، في مختبر ليد ، وقد لحقت وعوضت النقص الناتج عن الاحتلال الالماني . هذا التخلف استدرك في فرنسا بفضل الاعمال التي أجريت في مدرسة دار المعلمين العليا من قبل ج . ل . ستينبرغ Steinberg وآ . ج . بلوم Blum ، وفي معهد الفيزياء الفلكية برئاسة م . لافينور . وكان لا بد من انتظار مجيء سنة 1954 حتى يتشكل فريق مرصد مودون برئاسة ج . - ف . دنيس ، ومحطة الاشعاع الفلكي في نانساى . وفي ألمانيا انشئ مركز بون في نفس الحقبة تقريباً وانشئ كذلك عدة مراكز مهمة في الاتحاد السوفياتي خاصة في بولكوفو وموسكو والقزم .

وأخيراً هناك مجموعتان لهما أهمية انشئت في هذه السنوات الأخيرة في الولايات المتحدة :

مجموعة معهد كاليفورنيا برئاسة ج. ج. بولتون ، ومعهد الجامعات المشتركة في غرين بانك .

كل هذه المجموعات قد زودت عبر السنين بمعدات تتزايد قوتها مثل المكشاف أو التلسكوب الاشعاعي . ويذكر من بين هذه المعدات تلسكوب جودول بنك وله مرآة بضاوية الشكل قطرها 75 متراً . وقد شغل هذا التلسكوب سنة 1958 ويبقى هو الاروع . اما المرآة ذات القطر 65 متراً فقد انتهى صنعها في استراليا سنة 1961 ، وهي تبدو اكثر دقة من الاولى .

وكذلك الحال بالنسبة الى التلسكوب الاشعاعي نصف الثابت في محطة نانساي الذي سوف يكون له بشكله النهائي سطح يعادل ضعف التلسكوبات السابقة .

3- تطور الاكتشافات الكبرى

علم الفلك الاشعاعي والرادار والنيازك - ان ج. س. هاي هو اول من اكتشف ان من شأن المذنبات النيزكية ان تعيد الاصداء الرادارية . وهذه التقنية الجديدة المسماة الفلك الاشعاعي الراداري (راديو ، فلك - رادار) قد أتاحت في الحال اكتشاف النيازك الاكثر عدداً ، والتي ترصد في النهار كما في الليل .

ومن بين النتائج الحاصلة بخلال السنوات التي تلت ، وبواسطة تقنيات اكثر فاكثر رهافة ، طورها ج. س. هاي بنفسه ، ومجموعة جودول بنك برئاسة آ. ك. ب. لوفل يجب ذكر اكتشاف مجموعات النيازك الكثيرة العدد ، كما يذكر البرهان النهائي على ان غالبية النيازك تتحرك ضمن مسار بضاوي وانها تدخل ضمن النظام الشمسي .

ان علم الفلك الاشعاعي الراداري قد احرز بعد ذلك بوقت تقدماً هائلاً ، وكانت الاصداء الاولى حول القمر قد حصلت في الولايات المتحدة في سنة 1946 وحول الزهرة سنة 1958 ، وحول الشمس في سنة 1959 ، وكل ذلك بفضل آلات تزداد قوتها ، طُوِّرت في الولايات المتحدة .

الكواكب السيارة - يعود الفضل بالدرجة الاولى إلى مجموعة « مختبر الابحاث البحرية » في الولايات المتحدة ، الذي ساعد ، بخلال السنوات العشر الأخيرة ، في قياس الاشعاع الكهربائي الصادر عن الكواكب ومنها تبعاً القمر ، المشتري ، الزهرة وأخيراً زحل وربما عطارد ، وقد التقطت على موجات اطوالها بالاستيمتر .

في سنة 1955 اكتشف ب. ف. بورك Burke وك. ل. فرنكلين Franklin نمطاً من الاشعاع شديد الزخم على موجات دكامتريه آتية من كوكب المشتري ؛ وهذه الاشعاعات الميثوثة الفريدة من نوعها ربما تتوافق مع شروط خاصة جداً يجب توفرها في الفضاء الخارجي لهذا الكوكب .

الشمس - في سنة 1946 بدأ آ. أ. كوفنغتون اول سلسلة من القياسات المنهجية على الاشعاع الشمسي على موجة طولها 10 سنتيمتر . ان هذه القياسات المتناهية الدقة ، والتي ما تزال مستمرة حتى اليوم ، قد استخدمت كأساس لجملة من الدراسات حول الاشعاع الهيرتزي الصادر

عن السطح المشع من الشمس وعن التاج الأسفل . وكثرت هذه القياسات الآن في العديد من البلدان (في اليابان وفي هولندا بشكل خاص) وتوضحت بواسطة قياسات اشعاعية (في استراليا واليابان وفرنسا) فأتاحت التعرف على سطح الشمس وما فيه من تكثفات غازية حارة تعلق الصياخد (أي الانقسام البراقة من الشمس) والمناطق النشطة مغناطيسيا .

اننا نعرف الآن ظاهرات اشعاعية كهربائية معقدة جداً رافقت الانفجارات الشمسية (الكروموسفيرية) ونعزى بصورة اساسية، من جهة الى الابحاث التي اجراها، منذ 1952، ج. ب. وايلد ومعاونيه، في المطياف الديناميكي في سدني، ومن جهة أخرى، منذ 1956، الى الارصاد التي جرت في نانساى بواسطة الكاشف الكبير، تحت ادارة آ. بواشو ومعاونيه.

لقد قدم فريق سدني أساس معارفنا حول سلوك المقذوفات النطية (القفزات من النطيين II و III) التي ظهرت في بداية الانفجار . ونحن مدينون لفريق نانساي بالتعرف على مصادر البث ذات الزخم الكبير والمقرونة بخلق جزئيات كونية بقرب الشمس (قفزه من النمط IV) ، وكذلك الدراسة المعمقة لوقع هذا البث : عواصف متواصلة وعواصف راديو اشعاعية . وهناك طريقة مفيدة جداً في دراسة التاج البعيد تستخدم اختفاء أو احتجاب المصدر الاشعاعي المرافق لسديم كراب وراء قضاء الشمس ويعود الفضل فيها إلى مبادرة آ . هيويش Hewish وف . ث . فيتكفيتش Vitkevitch .

المستحذات العملاقة - (سوبر نولفا) - كان ج . ج . بولتون ومعاونوه أوائل في تحديد ومعرفة أحد المصادر الاشعاعية الأكثر بريقاً في السماء ، وذلك بفضل بقايا نجمة مستحدثة عملاقة هي سديم كراب الذي انفجر منذ حوالي 900 سنة .

ومنذ ذلك الوقت تم التعرف على دزينة من المستحدثات القديمة نوعاً ما بفضل الأعمال التي قام بها بشكل خاص م. ريل ور. مينكوسكي وو. باد ، من أجل النجمة كاسيوي (وهي المصدر الاشعاعي الأكثر بريقاً في السماء وربما كانت الأكثر شباباً) ، وهوموري ر. براون بالنسبة إلى تخريم الجعم (dentelle du Cygne) الذي يبلغ عمره أكثر من 100 ألف سنة .

الخط 21 ستيتمراً - ان دراسات اشعاع الهيدروجين بين المجرات في الخط 21 ستيتمراً ،
يمكن ان تعتبر من نواح عدة من المساهمات الرئيسية في علم الفلك الاشعاعي .

وهذه الدراسات يعود الفضل فيها بصورة أساسية إلى أعمال الهولنديين (ج. ه. أورت وه. ك. كيركغ ومعاونيه) بالنسبة إلى نصف الكرة الجنوبي، وكذلك إلى بعض الدراسات الأخرى في الولايات المتحدة وناكتلرا. وقد قدمت هذه الدراسات في الحال صورة متماسكة لبنية مجرتنا كما قُدمت بشكل خاص تحديداً كاملاً جداً لأذرعها الحلزونية ولغيوم الهيدروجين التي تؤلفها؛ كما قدمت هذه الدراسات اكتشاف بنية معقدة جداً في مناطق الوسط المجري حيث ترصد حركات توسع مشهودة، وقُدمت معطيات مهمة حول الكتلة الهيدروجينية لبعض المجرات المجاورة لمجرتنا.

ويتوقع من تشغيل التلسكوبات الكبرى الحديثة دفع جديد في هذا المجال الرصدى الاساسي .

الهالة المجرية - الى ج . ي بالدوين يعود الفضل في اكتشاف الهالة المجرية سنة 1955 . وبفضل دراسة مفصلة للارصاد استطاع ان يبين ان مجرتنا تسبح ضمن غيمة ممغنطة تبدو كروية ، وربما كانت مأهولة بجزيئات ذات طاقة عالية جداً . ومن جهة أخرى بين ب . ي . ميلز ان تركيزاً ملحوظاً لهذه الجزيئات الطاقوية موجود أيضاً في الأذرع الحلزونية . وبعد ذلك رصدت هالة من ذات الطبيعة في مجرات أخرى ، وخاصة في مجرة اندروميد .

المصادر الاشعاعية خارج المجرات - من منظور بعيد من المحتمل ان يبقى اكتشاف المصادر الاشعاعية خارج المجرات المساهمة الاساسية في علم الفلك الاشعاعي بحسب معرفتنا للكون ، وقد عكف العديد من العلماء على المسائل الصعبة جداً التي طرحها درس علم الفلك الاشعاعي .

حاول أتباع مدرسة كامبريدج برئاسة م . ريل ، مزدوين بالية ضخمة ، ان يعدوا أكبر عدد ممكن من المصادر الاشعاعية من اجل درسها بشكل احصائي . وقدمت مدرسة سيدني وعلى رأسها ج . ل . بوزي وب . ي . ميلز ، انما بوسائل اقل طموحاً ولكنها أكثر دقة ، ان تقدم مساهمة اساسية في سبل مماثل .

وقد بينت الدراسات الاولى بشكل مؤكد ان هذه المصادر الاشعاعية كانت ذات منشأ خارج عن المجرات ، وهي قليلة العدد نسبياً ، كما هي بعيدة جداً في معظمها . وبفضل ارساد دقيقة جداً تناولت الموقع ، وقام بها ف . ج . سميث Smith ، ادت الدراسات بشكل خاص الى تحديد هوية المصدر الاشعاعي المسمى البجعة ، وفيه مجرة مزدوجة خصوصية جداً ، وذلك سنة 1953 على يد باد ومنكوسكي . وهذا الاكتشاف مدين مثل اكتشاف « كاسيوبي » ، الى تلسكوب جبل بالرومار ، وهو اكتشاف مهم لانه كشف عن أهمية المصادر الاشعاعية بشكل حقيقي .

وخلال هذه السنوات الأخيرة ، قامت مجموعات من جودرول بنك ومن معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ، ومن نانساى بدراسة مسألة المصادر الاشعاعية ، وذلك وفقاً لأسلوب مختلف تماماً ، قائم على الحصول على معطيات حول بنية ، وحول قطر عدد محدود نسبياً من المصادر الاشعاعية .

ودلت هذه الدراسات على السمة المعقدة جداً لهذه الأشياء ، كما لقت الشك على بعض النظريات المقترحة من اجل تفسيرها وخاصة النظرية التي تقول باعتبارها مجرات متصادمة .

وهناك تحديد آخر مهم أيضاً ينسب إلى ر . منكوسكي أيضاً ، سنة 1960 ، وهو تحديد ومعرفة المصدر الاشعاعي بوقيه بواسطة كتلة من المجرات الكثيفة نوعاً ما ، والتي قدرت مسافتها بما يقارب خمسة مليارات من السنين الضوئية . وهذه الكتلة تمثل الهدف الأكثر بعداً الذي تعرف

عليه الفلكيون من قبل ، وهذا التحديد قد اكد بأن غالبية المصادر الاشعاعية ربما كانت بعيدة جداً وخارج متناول اعظم التلسكوبات البصرية ، ولكنه بين ايضاً ويوضح التعاون المتبادل الذي يمكن ان يتوقعه كل من الفريفيين الفلكيون وعلماء الاشعاع من بعضهما البعض .

وهكذا اضافة الى الاهتمام الخاص بهذه المعجرات الاستثنائية ، يضاف الامل من جراء مساعدتها على توسيع حدود الكون المدرك ، فهي تمثل اداة - ربما كانت الاداة الوحيدة المتاحة - من اجل حل المسائل الفلكية الكبرى المرتبطة ببنية الكون وتطوره ونشأته .

علوم الحياة

ان تقدم وتطور علوم الحياة كان ضخماً في القسم الاول من القرن العشرين . ونريد ان نعذر تماماً عالم الغدد الصماء ان فكر أولاً في الاكتشافات الحاصلة في مجال الهرمونات . فالارالية الهرمونية والارالية العصبية اللتان تتحكمان في الحياة العضوية الاربائية، قد تندمجان أحياناً : في الهيوتالاموس (تحت المهاد) تستطيع خلية واحدة ، مزودة بكل الخصائص الشكلية التي للخلية العصبية ، ان تفرز أيضاً الهرمونات . هذه الهرمونات العصبية تؤثر في الانتيهيوفرز المجاورة ، وتحفزها على اطلاق محفزاتها التي سوف تثير بدورها نشاط الغدد الصماء الاخرى . هذا التواصل تحت المهادي الخلوي الهرموني يسمح بفهم ان هذه الانطباعات الاطرافية التي تنقلها الاعصاب الى غدة الهيوتالاموس ، يمكن ان تتجارب في اعماق الجسم : وهكذا تستكمل الانعكاسات العصبية الصمائية أو الغددية التي يمثل بعضها اواليات مذهشة . ألا يمثل الهرمون وهو مادة كيميائية ، الوسيلة البدائية المستبدلة بصورة تدريجية بالنورون اي الخلية العصبية التي تبدو احياناً وكأنها تذكره ؟

ان المثيرات النخامية هي خمائر ، أو ملاسل قصيرة نوعاً ما من الحوامض الامينية التي يصعب عزلها ، والتي أصبحت أكثر فأكثر انكشافاً امام المعرفة . والعناصر التي تطلق الهيوتالاميك في هذه المثيرات هي بدون شك خمائر أيضاً . وهي اليوم مدروسة بعناية . اما الهرمونات الاخرى المكتشفة ، فقد تمت معرفتها تماماً بفضل العمل الباهر الذي قام به الكيميائيون . فهؤلاء لم يعودوا يكتفون بتقليد الجسم في تركيباتهم بل يحاولون أن يتجاوزوا الجسم فيخلقوا في بروتقاتهم مستحضرات اصطناعية لها أحياناً بعض الامتيازات على الهرمونات الطبيعية ، ولكن إرادة تصحيح الطبيعة لا تخلو من مخاطر ، ونعرف أمثلة محزنة عن هذه المحاولات .

ان الدراسة الفيزيولوجية لهرمون ما يمكن ان تسهل الى حد بعيد عندما تعالج هذه الدراسة بواسطة الزراعة في المختبر . وقد أمكن التوصل إلى تعيش خلايا خارج الجسم طيلة وقت طويل جداً .

ويمكن ان ننصّر المعلومات الثمينة المتجمعة بخلال مثل هذه البحوث . وعلى كل يتوجب

دائماً « التفكير خلويًا » كما كان يقال أيام كلود برنار Bernard ، فالخلية كانت تمثل يومئذ وحدة المادة الحية . وفي أيامنا ، تعتبر الخلية كالذرات التي تكونها ، موضوع التشرريحات الدقيقة . وقد مكن الميكروسكوب الالكتروني من تعميق حدود الشكلائية ، كما امكن تصوير الفيروسات والباكتيريوفاج (ملتهم الجراثيم) . وقد ساهم الفيزيائيون الكيميائيون بأنفسهم في هذه التشرريحات . وهكذا فتح مجال البيولوجيا الخلوية ، ومجال الفيزياء الكيميائية الخلوية الكبرى . فالخلايا الكبرى من البروتينات اللولبية أصبحت مركز مسألة الحياة ، وها نحن نفكك اولى تركيبها داخل الخلية الحميم . وبدأ العلماء يترقبون التفاعليات الفيزيائية الكيميائية للوراثة وذلك بتحليل المبادلات الاكسيدية الربية النواتية المنزوعة الاوكسجين والربية النواتية . وقد حاول العلماء اجراء التركيب البيولوجي للبروتينيات في المختبر بحضور اعضاء خلوية خاصة اسمها الريبوزوم ribosomes (جسيمات ريبية) تعمل بصورة طبيعية داخل السيتوبلازما ، وفقاً لخطط تملئها بعض العوامل المنبثقة عن الكروموزومات وهذه الكروموزومات تتحكم بصورة مطلقة - وقد تبين هذا منذ عدة عقود . واصبح نسيجها وتأثيرها الضخم معروفاً أكثر فأكثر . ان المفارقات التي تصيها احياناً اثناء تنقلها أو هجراتها تلقي اضاءة قوية حول أسباب الامراض التي تعتبر حتى اليوم مستعصية وذلك بحكم ان سببها يمكن في ارباك المخزون الكروموزومي . ولكن هذا المخزون يمكن ان يتضرر بفعل التجريب ومن يعلم ؟

ومن بين المسائل التي تقع في ذرى البيولوجيا نشير أيضاً إلى موضوع « الشطور » ، الكثير التعقيد ، والى « المظاهر المتنوعة جداً » وموضوع التنظيم الذاتي او التكيف الذاتي الذي يلعب دوراً في البويضة والذي يؤمن فيما بعد « حكمة الجسد » . ان ظاهرات التناسل تصنف أيضاً ضمن هذه الفئة المميزة ، والتخصيب ما يزال مغطى بالسر والغموض رغم النجاحات الباهرة في مجال التوالد العذري التجريبي .

وهناك مسائل أخرى مهمة جداً يعالجها عصرنا بجدوى . نذكر بعض عناوينها : ظاهرات المناعة ، والتطعيم ، والمضادات الحيوية ، والمفاهيم الجديدة في الزولوجيا أو علم الحيوان ، وازدهار علم الاحاث والتقدم في الفيزيولوجيا النباتية (والاكسينات أو الهرمونات النباتية والتركيب الضوئي) ، وتفاعليات التغذية ، الخ .

ان هذه المواضيع المختلفة معروضة ضمن الفصول المتتالية من هذا القسم بفضل المتخصصين المختلفين . ونلاحظ ان السير إلى الامام مستمر بسرعة في علوم الحياة وفي العلوم الاخرى . وسيطر فيها التجريب الكمي - وهذا التجريب ليس وليد الامس ، ونذكر هنا لافوازييه . « ان نقيس ما يمكن قياسه وان نجعل قابلاً للقياس ما لا يمكن قياسه » هذه النصيحة اوردها غاليلي وهي تحفز علماء البيولوجيا المعاصرين في حين ان مسؤولياتهم « كمكتشفين » لم تتوقف عن التزايد : في مواجهة الطاقة الذرية تقوم الكيمياء الدماغية والتأثير الضخم للخلايا الصغيرة على سلوك الافراد .

الحياة الأوليّة

I - الخلية

منذ اقرار العقيدة الخلوية في القرن التاسع عشر ، يفكر كل بيولوجي ويعبر عن فكرة « خلويًا » . ان القرن العشرين قد سار على الخط المرسوم سابقاً . ان زراعة الانسجة (ر . ج . هاريسون ، Harrison ، 1907 ؛ آ . كارل Carrel ، 1910-1912) أثبتت ان الخلية المستخرجة والموضوعة في المختبر ضمن ظروف ملائمة تتغذى وتنقسم وتتكاثر وتنقل .

السبل الجديدة للبحث - لقد راجع القرن العشرون ووسع المعرفة بالبنية الخلوية ، بفضل تحسين التقنيات القديمة وبفضل ادخال تقنيات جديدة : مثل الاعمال حول حييات الهيلي ، « الكوندريوم » Chondriome (ف . مفس Meves ، 1900-1908) ، وجهاز غولجي (1898) Golgi ، والديكتيوزوم (بيرونسيو Perroncito ، 1909) الارغاستوبلاسم (بوين Bouin ، غارنيه Garnier ، 1899-1900) ، السينيتيد (شاتون Chatton ، 1924) .

واصاب التقدم الادوات التي مكنت من الحصول على صورة امينة للخلية كبيرة جداً ؛ وهناك آخرون تناولوا الخلية بالذات فحسنوا تثبيتها وتلوينها محاولين فحصها في حالة الحياة (راجع أيضاً الفقرة I ، الفصل II ، القسم الرابع) .

ان استخدام الميكروسكوب ثنائي العينية قد تعمم ؛ وقد اتاح جهاز ضبط الاضاءة ، في كل وضع خاصة منذ خمس وعشرين سنة ، تمييز مختلف بنيات الخلية الحية بدون الاستعانة بالتلوين . وادخال الميكروسكوب الالكتروني في البيولوجيا نقل التكبير من 2500 قطر إلى 50 ألف قطر أو 70 ألف قطر . كما ادى بعد سنة 1950 الى تحقيق نتائج مهمة . نذكر أيضاً استخدام الضوء فوق البنفسجي ، والضوء المكثف ، والفلوريسان ثم « الهيستروغرافيا » أو تصوير اطيف الانسجة . ومع تحسين وسائل التثبيت والتلوين ، ومع محاولة الحصول على شرائح دائمة أرق وأكثر انتظاماً ، جرى البحث أكثر فاكثراً في تفحص الخلية الحية . واستخدمت ملونات (حيوية) قادرة على التسرب الى داخل الخلية غير المثبتة (رينوت Renault ، ودوبريل Dubreuil ، 1906 ؛ پارات Parat ، 1924 الخ) . ان دراسة الخلية الحية تقتضي استعدادات دقيقة . ان عناصر الانسجة الحية قلما تستجيب ، لذا فإن زراعة الانسجة في المختبر كانت مساعدة جداً . واستخدام ضبط

الإضاءة في كل وضع في هذه الحالة أتاح تفحصاً مفيداً وكذلك التصوير السينمائي التصغيري (ميشال Michel, 1943) - تقنية سبق واستعملت (جان كومندون Comandon, 1906 ؛ ج . جولي Jolly, 1913 ، الخ) بواسطة الميكروسكوب العادي . ان الزراعة في المختبر لكامل النطفة (جولي) قد أتاح رؤية السوميت (Somites) [كل من كتلتين داخل الخلية ، مكونتين من أنسجة لحمية ومنهما تشتق الأنسجة الطرية والهيكل العظمي] والجهاز الوعائي ثم انطلاقة تسجيل ضربات القلب تحت المجهر . واليوم يمكن ان تتبع المراحل المختلفة في الانقسام الخلوي (ج . فردريك وم . شفرمونت Chévrement, 1951) ويمكن أيضاً دراسة « الفاغوسيت » [خلية تبتلع البكتيريا] اثناء عملها ، الخ . ويعرف البيولوجي أيضاً كيف يمارس على الخلية الحية بعض التدخلات الجراحية : وهذا ما يسمى بالتشريح المصغر (شامبرس ، 1921) . ان القلاب الميكروسكوبي يتيح ، تحت الميكروسكوب ، نقل الابر الميكروسكوبية (كومندون وب . دي فونبرون Fonbrune ، سنة 1939) ، والانابيب الميكروسكوبية الصغيرة التي بفضلها يتم استخراج النواة كاملة او استخراج احد كروموزوماتها ، أو اجزاء زرق داخل الخلية .

ان الميكروسكوب الالكتروني قد أتاح تحليل مختلف اجزاء الخلية المثبتة مما يكشف عن تنظيم معقد في تشكيلاتها التي تبدو تحت المجهر الابصاري متناسقة . فضلاً عن ذلك يتيح ميكروتومات خاصة الحصول على مقاطع من الانسجة ذات سماكة رقيقة جداً (100 إلى 200 Å) .

النواة والسيترولاسم - كان من المقبول لمدة طويلة ان الكروموزومات تزول بين ميتوزين وذلك عندما تلدوب في العصارة النواتية . نعرف اليوم ان الكروموزومات لا تفقد أبداً ذاتيتها (غوينو Guyénot, 1951) . وبعد ان تم التعرف على هويتها عند مستوى نوى بعض الخلايا في الفسحة التي تفصل بين الميتوزات ، امكن استخراجها (ميرسكي وفولستر ، 1943) . وقد أثبت الميكروسكوب الالكتروني هذه الاستمرارية (ب - ب . غراسي ومعاونوه) . هذه الديمومة في الكروموزوم ضمن الحياة الخلوية ، ثم تشققة طولياً ، ثم انقسامه متساوياً بين الخليتين الوليدتين تتوافق تماماً مع نظرية الوراثة الكروموزومية (راجع الفصل IV من هذا القسم) .

ان التقدم الحديث قد أتاح أيضاً التعرف على بنية النكليول أو نواة النواة .

ان الميكروسكوب الذي يظهر فرق المرحلة قد كشف ذنباً هو النكليولونيم (استابل Estable وسوتيلو Sotelo, 1950) وقد عثر عليه في الميكروسكوب الالكتروني (بوريسكو Borysko وبانغ Bang, 1947 ؛ برنهارد ومعاونوه ، 1952) . وهذا العضو لا يظهر بشكل مجرد مادة احتياطية بسيطة أو بشكل رمية ؛ انه يدخل في تركيب البروتينات الخلوية ، مما يفسر محتواه المرتفع من الحامض الريبي النواتي . وهو مركز رئيسي لتركيب الانزيمات المشاركة والنكليوتيديك التي تتدخل في الاكسدة الخلوية وتدخل في تكون الكروموزوم .

ان السيترولاسما [حشوة الخلية] تتكون من مادة هلامية شفافة فيها تسبح المحصورات .

ان بعض هذه المحصورات ، وهو من نتاج الايض الخلوي ، يمثل البروتوبلاسم (الوزة) الجامدة ، بشكل فجوة ، أو حبيبات الافراز ، أو ملون الخ . وبعضها الآخر ، بعد درسها جيداً

بالميكروسكوب الالكتروني ، يلعب دوراً في الكيميائية الخلوية : الكوندريوم (تحبيبات الهيولي) ، جهاز غولجي ، ارغاستوبلاسم ، ميكروزوم . ان الميتوكوندريات [هنية الخلية] والكوندريوكونت [حبيبات] التي تشكل الكوندريوم [الغضروفين] هي تشكيلات بيبضاوية أو عضوية يحيط بها غشاء جواني مزدوج في اغلب الاحيان ومقطع بحواجز قد تكون مضاعفة الغلاف (جوستراند ، 1953) . وقد امكن عزل ميتوكوندريات بواسطة الدوران النبضي السريع جداً (آ . كلود ، 1941 - 1943) ثم دراسة تكوينها الكيميائي : دهنيات ، بروتيدات (هيولييات) ديامتاز [خمائر] ، فيتامينات ، حامض ATP (آدنوسين - تري - فوسفوري) . يلعب الكوندريوم دوراً اساسياً في التفاعلات الكيميائية الحاصلة في الخلية ، خاصة عند التنفس ؛ ولكن لم يعد من المعتقد اليوم ان الكوندريوكونت والميتوكوندري تستطيع ان تتحول إلى حبيبات ذات افراز . ان حبيبات الافراز تشكل عند مستوى جهاز غولجي والارغاستوبلاسم . هذان العضوان المصغران هما ضماثم من الشرائع ذات الحاجز المزدوج ، المتراكمة بشكل صفوف متوازية ، وتحتل مساحة ضخمة . وفي غشاء الارغاستوبلاسم توجد حبيبات تسمى حبوب بالاد Palade (بورتر وبلاد منذ 1950) . بين مختلف هذه التشكلات ، يحتوي الهيالولياسم في حالة الذوب ، حبيبات دقيقة للغاية اسمها الميكروسوم (آ . كلود ، 1943) . وبالنسبة لمنشئها ، نقول ان هذه الميكروسوم هي دعامة حامض ربيي نواتي ، ودورها الرئيسي مرتبط بتركيب البروتين (زامكنيك ، 1960 Zamecnik) .

ان العضويات الخلوية ، التي اكتشفت ، بصورة خاصة ، في أواخر القرن التاسع عشر ، قد درست من ثلاثة أوجه : البنية والتركيب والوظيفة . ان التوجه الخلوي الكيميائي [كيمياء الخلية] قد انطلق منذ بداية القرن العشرين .

ان البيولوجي المعاصر يترصد التفصيلات الدقيقة في الخلية ، فيراها تعيش ، ويجرب فيها ، ويحدد مكوناتها الكيميائية . وهكذا تظهر الخلية وكأنها جمهرة من الجزئيات المصورة في حالة تنافس ايضي ، كما الجسم المعقد ، الذي يعرض الاختلافات بين وحداته المكونة ، كما يعرض التكاملات الوظيفية فيه .

وتؤثر النواة في البلاسما الخلوية (سيتوبلاسم) ، وهي ضرورية للحفاظ على الميكروسوم . وهي مستودع الخصائص الوراثية ، ومبدعة التناسل الذاتي وتوزيع المادة الحية ، ولذا فهي لا بد منها للحياة الخلوية . وبالمقابل فهي ليست مركز التنفس ، كما كان المعتقد في اواخر القرن التاسع عشر ، وكل شيء يحصل كما لو كانت الميتوكوندريات خارج نطاق سيطرتها . واخيراً لا تكون النواة ناشطة ايضاً الا في الخلية الساكنة ؛ ان الخلية عند الانقسام ، تنبش ، بهذا الشأن ، سيتوبلاسمها فاقدة النواة . ورغم المبادلات الكيميائية المستمرة التي تحدث داخل الخلايا ، توجد توازنات وثوابت .

وهكذا توجد رابطة ثابتة بين حجم النواة وحجم السيتوبلاسم في الخلية (العلاقة النووية البلاسمية التي قال بها ر . هرتويغ Hertwig ، 1903 : $\frac{N}{C} = \text{ثابتة}$ ، باعتبار $N = \text{نواة وب} =$

بروتيد ، غلوسيد ، ليبيد ، كاروتينويد ، واملاح معدنية ، وماء . والعديد من المركبات الكيميائية ، قد استخرجت وحللت بل وايضاً صنعت تركيبياً . واهمية بعض المواد اعطت حضوراً خاصاً لدراساتها مثل : الكوليسترول ، والهرمونات الجنسية وفوق الكلوية ، والفيتامين دال ، وكلها ترد الى مجموعة الستيرول (مادة كحولية) ؛ اما الكاروتينويد (الجزريات) ، والكلوروفيل (اليخضور) والهيموغلوبين فتدخل في مجموعة البروتينات الصبغية ؛ اما النكليوبروتين والحوامض النكلية فمزودة بنشاطات حيوية ملحوظة .

اهم مكونات المادة الحية - لقد تم تحقيق تقدم هائل في القرن العشرين فيما يخص التعرف على ماهية المركبات العضوية التي تشكل المادة الحية وذلك من خلال وضع صيغ لها ومن خلال تركيبها .

ففيما يخص الغلوسيد قام آ . فيشر Fischer وهو معاصر للقرنين التاسع عشر والعشرين ، بتركيب الغلوكوز ، والمانيت والفروكتوز (سكر الاثمار) . وتم تركيب السكاروز سنة 1928 على يد بيكتيه Pictet وفوجل Vogel ؛ وركب كيسلن Kissling الغليكوجين انطلاقاً من (استر) كوري [الاستر هو حامض قلوي] . ان البنية الدورية للسكاكر كانت موضوع اعمال كلاسيكية قام بها هاوورث Haworth سنة 1924 . وتكوين مزائج السكر اي السكر مع غيره من المواد ، وخاصة تكوين العنصر النشط في الديجيتال [مادة سامة جداً] ، قد درس ايضاً . ان المدلولات المستعملة (اوز ، اوزيد Oses, Osides) يعود تاريخها الى اواخر الربع الاول من هذا القرن . والى الحوامض الاورينية [البولية] ينتمي الفيتامين C (زنت Szent - جيورجي Giorgi) . واخيراً ان متعدّدات السكر يد المخاطية تؤلف المادة الاساسية في الانسجة الملحمية : وحامضها الهالورينيك يتضمن الهالورينيد ، وهو « عنصر عامل على الانتشار » يُسبب الانسجة الملحمية المائلة والحامية .

وجرت اول محاولة توحيدية للمركبات ، المجموعة اليوم تحت اسم « ليبيد » من قبل اوڤرتون وميير Meyer (1900) . وكان الكولسترول معروفاً منذ 1775 (كونرادي Conradi) ؛ ولكن تركيبه لم يتحدد الا في سنة 1932 (ويندوس Windaus وويلاند Wieland) ؛ وعرف ويندوس ان الارغوسترين هو الفيتامين الافضل ضد الكساح (D₂) . ومعرفتنا حول الهرمونات الكحولية (ستروليك) (الخصوي ، المبيضي وفوق الكلوي) مرتبطة بهذه المجموعة من الاستقصاءات . ان الليبيدات (الدهون) المركبة التي اليها ينتمي الليستين ، قد حللت : الغليسرو - فوسفو - آمينو - ليبيد من قبل ديلزن وفورنر ، والسفينغو - آمينو - ليبيد من قبل ليفين (Levene) .

وفيما يتعلق بالپروتيد ، فقد جهد القرن التاسع عشر ، من براكوننو Braconnot الى آ . فيشر ، ان يحدد ، بالتحليل المائي ، الامينو حامض الذي يؤلف الپروتيد . وكان اول تركيب « لپيٲيد متعدد » ، عن طريق جمع الحوامض الامينية ، والسكر البسيط والمركب ، قد جرى على يد كورتبوس سنة 1883 ؛ وفتحت نجاحات فيشر وفورنو (1901) ، ومايار ، القرن العشرين . في سنة 1901 أثبت ف . هـ . هويكنس وجود التريبتوفان ، وفي سنة 1906 ، لاحظ ويلكوك وهويكنس

أن بعض الحوامض الأمينية لازمة ، ويجب أن تكون موجودة في الغذاء ، وفي سنة 1921 اكتشف هوبكنس الغلوتاماتيون في خميرة البيرة .

ان كيمياء الكرومويوتيد اليورفيريك ، المتميز بنواته « بيروك » قد فك رموزها فيشر ، وكان تنويجها بانتاج تركيب للبروتو- يورفيرين ، واندماجه بالحديد تحت اسم الهيمين ، مع قيام هيل وهولدن بتركيب الهوموغلوبين . ان السيوكروم آ ، ب ، ث قد اكتشفه كيلين سنة 1925 . وادت الاعمال حول الكلوروفيل الى عزله (ويلستاتر وهـ . فيشر) ، ثم الى تركيبه من قبل ر . روبنسون (1926) ؛ في حين ان اعمال ويلستاتر تناولت الانتسيان (1913) . اما الكاروتينويد فقد امكن عزله بواسطة الكروماتوغرافيا (التحليل الكروماتوغرافي) ؛ وقد اكتشفت ايضاً صيغة الليكوبين ، من الفيتامين آ ومن الفيتامين اي (E) ، في حين تمت بلورة الغزانتوفيل ، والكروستين كما تم تركيب السكوالين .

ومعرفتنا حول النوكليوتيدات تعود الى سنة 1868 : فقد اقتطع ف . ميسر نوى من خلايا الصديد وعزل « النوكليين » ؛ ثم فكك البروتين من الحامض العضوي (1874) . وتابع آ . كوسل المهمة (1882-1897) ؛ وعرف بان المكونات الاولى للحامض النوكلييك هي نوكليوتيد . واذا ساد الاعتقاد ، بعد ليفن Levene ، ان الحوامض النوكلييك هي « تترانوكليو- تيد » ، فقد عرفت طبيعتها الهولي- نوكليو- تيدك . وعندما يكون السكر ريبياً ، فاننا نتعامل مع الحامض الريبي النواتي (A RN) [A = اسيد] ؛ اما إذا كان السكر ديزوكسي- ريبياً ، فإننا نكون تجاه حامض ديزوكسي ريبى نواتي (A DN) . والثاني لا يوجد إلا داخل النواة الخلوية ؛ وهو مكون الكروماتين الدراتي (أوكروماتين) المتوطن في الكروموسوم عند مستوى الجينة ؛ ويدل في بيته الطبيعية (in situ) بفضل مفعوله المحلل (تفاعل فولجن ، 1924) . ويعتبر مسؤولاً اساسياً ، ليس فقط عن الاستمرارية وعن نقل الحياة بل يعتبر ايضاً مسؤولاً عن الحفاظ عليها على المستوى الخلوي ، فبدلاً من العبارة الشائعة لدى علماء الخلايا في القرن التاسع عشر ، وهي : « لا توجد خلية بدون نواة » حلت العقيدة الاحيائية الكيميائية وهي لا توجد خلية بدون A DN . ان هوبان واحد حاضر في النواة وفي السيتوبلازما حيث يظهر من خلال اثباته للاصبغ القاعدية (بازوفلي) ، وامتصاص الاشعة فوق البنفسجية (كاسبرسون ، 1949) . وكلاهما ضعيف من جراء الانزيم الخاص فيها (ديزوكسي- ريبو- نوكلياز وريبو- نوكلياز)⁽¹⁾ .

والى مجموعة النوكليوتيد ينتمي الادينو- سيتيري- فوسفات (A TP) الذي عزل سنة 1928 ، بفضل لوهمان انطلاقاً من نسيج عضلي ، واليها ايضاً ينتمي الغلائين- مونو- نوكليوتيد (FMN) ، والذي- فوسفوريدين- نوكليوتيد DPN ، كوانزيم I ، كوزيماس (، والكوانزيم A ، والسيانو كوبالامين) فيتامين B₁₂ ب 12 ؛ وكلها مهمة جداً في عمليات الايض .

(1) لقد حقق أوشوا Ochoa وكونبرغ Kornberg التركيب البيولوجي للحامض نوكلييك (1959) . ويدل حامض ريبو نوكلييك على الأقل تحت أشكال ثلاثة مختلفة بفعل أحجام الجزيئات ، وتركيباتها ، وايضا ووظائفها جاكوب Jacob ومونو Monod (1961) .

ونجد ايضا في المادة الحية الماء بنزارة وباشكال متنوعة : مرتبط ، وحر ومقحم . ان الاملاح المعدنية ليست مما يهمل ، حتى بكميات صغيرة ؛ واهمية العناصر الضرورية من الفيتامينات قد توضحت على يد ج . برتران سنة 1903 .

ولا يكتفى باستخراج المركبات الكيميائية ثم تنظيم جردها لها . بل يجري العمل على اكتشافها في مكانها من الخلية بفضل التفاعلات في جذورها المميزة . وهذا هو موضوع تاريخ الكيمياء الذي يسمى « توبو كيمياء » .

هندسة المركبات العضوية - ان المادة الحية تتميز بتجمع الاجسام الكيميائية الاولى الموجودة فيها . ويجب النظر الى وجود المماكب أو الايزومير [متجاذى مؤلف من ذرات متماثلة النوع والعدد ولكنها مختلفة الخصائص] ؛ وترتكز الحياة على « عدم التناظر البصري » . ومن الناحية التعليمية من الاسهل النظر الى :

1 - التركيبات البسيطة أو الهندسات البسيطة : وهي اكثرية (حوامض اليفاتيك وخاصة الحوامض الشحومية ؛ السكاكر ؛ الحوامض الامينية) ، أو ذات الاستعمال الشائع (مثل ستيرول ؛ الاجسام المختلفة التركيب الدوري : مثل البيروكس والبيريميدين ، والهورين ، الخ . والكارتونويد السفلى) .

2 - اشكال تجمع عن طريق الاتصال : مثل السكريات (ديهولوسيد ؛ نوكليوسيد) ؛ الاستر (الدهنيات من نمط غليسيريد ؛ الاستر الفوسفوري ؛ CoA ؛ نوكليوسيد ؛ الدهنيات المعقدة) ؛ البيتيدي (متعددات الببتيد) ؛

3 - جزيئات كبيرة مثل : بوليسكاريد (السللولوز ، النشاء ، الغليكوجين) ثم متعددات السكريد المتغايرة (متعددات السكريد المخاطية ، هيبارين ، حامض كوندرويتين كبريتي) ؛ نوكليو - بروتين ؛ بروتينات معدنية (هيموغلوبين ، كلورو بل) ؛ هولوپروتين . وهناك فئتان من الاجسام من شأنهما ان تشكلا جزيئات كبيرة جداً :

1 - الغلوسيد ، وهي تعطي الطاقة الخلوية . ومن الناحية الكيميائية ، يبدو نسيجها بسيطاً لانه يكرر عن طريق التجميع والاتحاد نفس الدافع الاول .

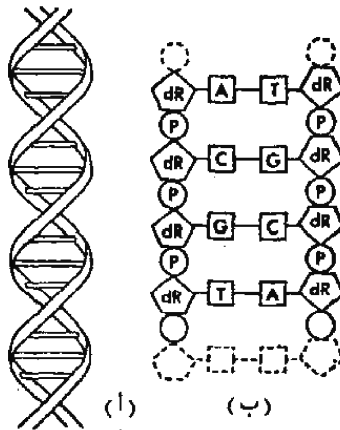
2 - ان البروتيد ومنها المكونات الخاصة التي تعتبر حوامض امينية متجمعة بشكل سلاسل طويلة بموجب وشائح ببتيدية . والجزيئات الضخمة تنشأ بفعل تجمع حوالي ثلاثين حامضاً امينياً يتبع تركيبها الحصول نظرياً على عدد ضخم جداً من الاجسام المختلفة (132 وبعده 30 صفراً) .

ان الشبكات والخيط البروتينية والاعشبية هي العناصر الاساسية في تركيب المادة الحية وهناك اكتشاف رئيسي في البيولوجيا الجديدة هو الاعتقاد بأن الحياة منظمة حتى على الصعيد الخلوي . ان البروتريلا سما مؤلفة من خلايا كبيرة ، ولكنها ليست حكراً على هذا النوع من الخلايا .

وكلما كبرت الخلية ، نلاحظ تغييراً موازياً في خصائصها الفيزيائية . فاذا تجاوزت الكتلة 10 الاف وحدة فانها تنتمي الى محلول غروي . والوزن الخلوي لهذه الخلايا الكبرى قد يتجاوز عدة

ملايين . وملاحظتها تتجاوز في كثير من الاحيان القدرة الفاصلة التي يتمتع بها الميكروسكوب الالكتروني ، رغم ان هذا الجهاز يتيح تتبع أيض الفريتين أو الحديد عند مستوى النخاع العظمي المكوّن للدم . وهذه الخلايا تدخل في اطار البوليمرات العليا ، المعروفة منذ ستودنجر Staudinger (1920) . ان الانكسار المضاعف في اجهزتها الليفية ، وبيان (دياغرام) طيفها الكاسر للاشعة السينية يتيحان اعادة تكوينها . وقد تميزت البروتينات بتلغات (شبكة هيكل خلية البروتوبلاسم) وبكرويات (هوموغلوبين) ؛ والتحول الداخلي ممكن كما هو الحال في الاكتين الذي يمثل السند الخلوي لتقلص العضل .

وما يزال شكل بعض من هذه الخلايا الكبرى موضوع جدل ؛ ففيما خص البروتينات الليفية ، استبدلت البنية الخيطية التي دعمتها الانسة رنش. Wrinch بالتصور الحلزوني الذي قال به پولنغ (كابل ذو 7 شعب) . وقد عزا كل من پولنغ Pauling وكوراي Corey (1953) وج . د . واطسون وف . ك . كريك (1953) ، ايضاً ، بنية حلزونية للحوامض النوكلييك (النواتية) : فقد تصورها مؤلفة من سلسلتين لولبيتين (حيث يتناوب السكر والحامض الفوسفوريك) مرتبطتين بجذوع (حيث تواجد الركائز الازوتية) (صورة رقم 31) .



صورة 31 - رسمة الجزيء ADN (كما رسمها واطسون وكريك) .

أ - رسمة إجمالية - تتكون الخلية من سلسلتين موازيين من نيكليوتيدات مبرومة بشكل لولبي ومصلة بهر كائنها الازوتية .

ب - تفصيل السلاسل المنشورة . ان كل نوكليوتيد يتألف من ركيزة ازوتية (آدينين : A ؛ غوانين : G ؛ ستوزين : C ؛ اوتيمين : T) موصولة بسكر (فريز - اوكسي - ريبوز : d.R) ، هو بلاتنه مثبت الى مجموعة فوسفورية (P) موصولة بدورها به ديزوكسي ريبوز ، النوكليوتيد التالي . ان بنية الـ A. R. N متشابهة ، الا ان السكر ليها هو الريبوز والاثمين ليها مستبدل بالاوراسيل .

هذه الفرضية الاخيرة ، التي استحققت جائزة نوبل للطب سنة 1962 لواطسون ولكريك - وكذلك لـ م . ك . ف . ولكنس Wilkins الذي لعبت بحوثه في التحليل الطيفي عن طريق

انكسار اشعة X دوراً مهماً - قد تأكدت بعدة اعمال لاحقة . وقد ساهم كريك بشكل خاص ، وبنشاط زائد في « حل رموز » القانون الكيميائي الذي بواسطته يلعب الـ ADN دوراً أساسياً في أواليات الحياة والوراثة .

ومن الجدير بالذكر ان ماشييف Machebœuf قد سبق ولفت الانتباه الى الاتحادات الدهنية - البروتينية . (كو - انزيم) . ان مفهوم الوصل يتحجم بكل هذه المسائل ؛ وهذا التصور لتركيب المادة الحية يدخلنا في صميم تنظيمها ، وبصورة افضل من وجهة النظر الغروية التي أصبحت اليوم عتيقة . تنظيم خلايا كبيرة ، بنيت ضخمة مريئة بالميكروسكوب الالكتروني ، بنيت ميكروسكوبية تمثل « سلالم » ذات ضخامة متزايلة بصورة تدرجية ، تربط هكذا الكيمياء بعلم التشكل (مورفولوجيا) .

ان بعض المواد مزودة بخصوصية ذاتية قد تكون ميزة للنوع ، أو لمجموعة حيوانية (زولوجية) . ان خلايا حامض - ديزوكسيريو - نوكلليك [ADN] تختلف ، خاصة ، من حيث الترتيب الذي تُصَفّ فيه الركائز الازوتية ، ذات السلاسل التي تستطيع بالتالية ان تحقق عدداً مرتفعاً الى اقصى حلٍ من التركيبات . ان اواليه الوراثة قد ترسم وتختصر بنقل الـ (ADN) الخاص بالآباء ، الى الاولاد .

في سنة 1866 ، لاحظ كورير وفون كروجر ان هيموغلوبين الجنين اكثر مقاومة للتغيير القلوي من هيموغلوبين الإنسان الراشد . واليرم يرتكز تفارق تسعة أشكال ، منها اثنان فقط يعتبران طبيعيين ، على معايير دقيقة . ان وجود الهيموغلوبين غير العادي ، السمة المتقلة وراثياً ، هو مثل هذه « الامراض الجزئية » التي يجب تمييزها ، في علم الامراض ، عن « علم السمات » البيوكيميائي (وهو النتيجة البسيطة البيوكيميائية للمرض) (انظر دراسة ر . دييري وج . ديبوكوا الفقرة VI ، الفصل II ، القسم الخامس) .

هناك جملة من البحوث الجميلة ادت الى نشوء الكيمياء - المناعة . فقد استطاع لاندشتاينر Landsteiner وتلاميذه ان يبينوا اهمية مختلف المواد غير البروتينية في ظاهرات المناعة . والمضادات ليست ابدأ « كائنات عقلية » بل هي γ-غلوبولين في الدم تستطيع استخراجها (انظر بهذا الشأن الفقرة V ، الفصل اللاحق) . ان بعض العناصر الكيميائية في الجسم هي مزودة - انما بمعيار خفيف - بنشاط عالٍ مثل : الفيتامينات والانزيمات والهرمونات .

الفيزيولوجيا الخلوية - ان دراسة الفيزيولوجيا الخلوية اصبحت تتم الان في المختبر كما في الجسم ايضاً وهي تحاول ان توضح العوائل التي تنعكس على الوظائف كما على بنياتها . والعوامل المنشطة حيوياً تترد الى تفاعلات فيزيائية أو كيميائية . وتأثير درجة الحرارة ، والضوء ، والاصوات الحادة جداً والتيار الكهربائي مدروس فيها . ان الاشعاعات المؤينة هي التي أدت الى النتائج الاكثر اعمية . ان اكتشافات رونتجن Röntgen وآل كوري قد فتحت الطريق امام الراديوبولوجيا أوالتصوير الاشعاعي الاحيائي : فالتشعيع يغير في العمل الخلوي ، ويؤدي الى تشوهات جنينية وفي بعض الاحيان يؤدي الى تحولات وراثية . وهو يتسبب غالباً بموت العناصر

المصابة . وهذا الاثر مستخدم من اجل القضاء على الانسجة المريضة . وتتدخل المواد الكيميائية من اجل تغيير الظواهر الغذائية ، وتؤثر على التكاثر وتوجه الحركة عن طريق الانتحاء أو الانحراف أو بواسطة الحفز - الاشارة .

ان الوظائف الكبرى في الحياة ترد الى ظواهر فيزيائية أو كيميائية . وتسريبة الأغشية البلاسمية تستكشف اليوم بواسطة النظائر المشعة الاصطناعية ، وفي فهم هذه الاليات يستعان بالامتصاص وبترتيب المجموعات المتوترة الناشطة الموجودة بين الفواصل ، كما يستعان بتنظيم الطبقات الوحيدة الخلية التي تقدم مجموعات هادفة ، كما يستعان « بتوازن دونان Donnan » . واخيراً أن ترتيبات هيكلية الخلايا الكبرى في الغشاء ترعى مسام متناهية الصغر تعطي احجامها فكرة عن حجم الجزيئات التي تجتازها . كما تحدث تفاعلات انزيمية ايضاً .

ان الغذاء يسود ليس فقط في البناءات البلاسمية الهامشية بل يتحكم ايضاً باعادة تكوين البروتينات بالذات . وسرعة استبدال العناصر المكونة ، أو اعادة التكوين قد اكتشفت بفضل الاجسام المعلمة (تجربة فيشيرى Vichery وپوشر Pucher وشونهيمر Schoenheimer وتينبرغ Tittenberg (1940) ، على حنطة مغذاة بملح الامونيوم الذي يحتوي على الازوت 15) .

الانزيمات - ان المادة الحية هي مركز لتحول دائم في المواد الكيميائية وفي الطاقة . واستمرارية الشكل لا تنفي تأجع التجدد . في عمليات الأيض تكون بعض المواد مزودة بنشاطات قوية . انها الأنزيمات ، التي كانت تسمى في السابق تحت اسم خمائر أو دياستاز ، ولكن القرن العشرين كشف عن عددها وعن طبيعتها الكيميائية وعن اهميتها . وبصورة تدريجية ادرك ان غالية التفاعلات الاحيائية الكيميائية تيسر بواسطة الانزيم . ودراسة الانزيمات اصبحت علماً . وهي تركز اليوم على جملة من القواعد المستقرة .

وبعد مجادلات قامت بين پاستور Pasteur ، وليبيغ Liebig حول مفهوم الخمائر ، فان السنوات الاخيرة من القرن التاسع عشر (أ . بوشتر Buchner 1897 ؛ ويرنران ، 1897 Bertrand ؛ وكروفت - هيل ، 1898) شاهدت وتنبأت بازدهار سريع للمعرفة في هذا المجال وسرعان ما تحققت انجازات في فهم طبيعة الانزيمات ، وشروط عملها - وحتى فهم اوابتها - (آ . هاردن وو . ج . يونغ ، 1904-1908 ؛ سورنس ، 1909 ؛ ل . ميخائيليس Michaelis وم . ل . مانتن Menten 1913) ، ليتم الوصول في النهاية الى الأعمال الاساسية التي قام بها ر . ويلستاتر Willstatter (1928) والى اكتشاف قام به ج - ب . سومنر Sumner (1926) الذي عزل ، ابتداء من طحين الفول ، الاورياز وحصل عليه بحالة التبلر . وبعد ذلك بعدة سنوات تم الحصول على الببسين (ج . هـ . نورثروب ، 1930) ، وعلى التربسين (نورثروب Northrop وم . كونيتز Kunitz 1931) وعلى الريبونوكلياز (كونيتز ، 1939) ، وعلى البيروكسيداز (آ . هـ . تيورل Theorell 1940) ، وعلى الهكسوكيناز (برجي ، وكونيتز ومكدونالد ، 1946) ، الخ . وذلك بشكل تيلري . ان سلسلة الانزيمات المعزولة والمحضرة على هذا الشكل تعد الآن اكثر من ثمانين وحدة .

في سنة 1910 بين هـ. فون اولر ان للانزيم ، وهومادة ذات تركيب معقد ، تأثيراً خصوصياً يتناول جسماً محدداً هو الجواهر من الناحية الكيميائية ، وفي أغلب الأحيان ، يتناول الجواهر من حيث التركيب اللزوي الكيميائي ؛ جسمان متماثلان يخضعان لعاملين مختلفين متنوعين . وهذا المفعول ارتدادي (كروفت - هيل ، 1898 ؛ بوركلوه ويريدل 1912) .

ومن حيث خصوصيته الضيقة ، لا يتدخل الانزيم ، في أغلب الاحيان ، الا في حلقة من تفاعل ، والنتيجة النهائية تحصل بفضل سلسلة من الانزيمات تفعل بشكل متالٍ وتشكل « سلسلة انزيمية » . وهي (اي الانزيمات) موجودة بكثرة في الخلية ، فتعطي للتفاعلات درجة عالية من السرعة ومن الدقة ، مع بقائها في النهاية سليمة من التلف . ان مفعولها المساعد يخضع لشروط درجة الحرارة والكامن الهيدروجيني pH ؛ وهي تتأثر بالمنشطات وبالمسكنات (ل . ميخايليس 1913) ، وعلم الانسجة الانزيمية يحرص على تحديد مكان الانزيمات في الخلايا (استكشاف الفوسفاتاز القلوي من قبل غوموري ، 1939 ، الخ) .

وتصنف الانزيمات سندا للطبيعة الكيميائية لتدخلها . وهذا التصنيف قد تحسن بصورة متصاعدة . والتصنيف الاحداث يعالج خمس مجموعات :

1 - الهيدرولاز ، وتقطع الخلية الى شطرين عن طريق الماء : استراز ، غلوكوسيداز ، آميداز ، بيتيداز .

2 - الترانسفيراز ومن شأنها ان تحول المجموعات : ترانساميناز ، ترانسفوسفاناز ، ترانسأميناز .

3 - الاوكسيد رديكتاز وتؤمن الانحلال أو طرد الهيدروجين وتأجيج الاوكسجين .

4 - اليلياز والستيزاز ، وتنزع الماء أو تضيفه دون قطع الخلية .

5 - الايزوميراز (آز التماكب) والراسيماز وتحدث في الخلية عمليات التعب والنماكب .

ويبت أعمال متنوعة ، وخاصة أعمال مومنز ، باستخدام الدوران السريع جداً على الذرات وبواسطة التحليل الكهربائي (الكترولوريز) ، ان الانزيمات هي ذات طبيعة بروتينية ؛ وهي تعرف بانحلالها امام الحرارة ، وبحساسيتها تجاه pH (سورنسن Sorensen) ، وبطبيعتها الغروية . الواقع ان كل الانزيمات ليست بروتينات خالصة . في الانزيمات المختلفة البروتين يرتبط البروتين (ابو انزيمي) بقوة بمجموعة ناشطة ذات كتلة جزيئية أكثر ضعفاً تسمى مجموعة بروتينية .

وباختصار يمكن أن نسمي كوانزيم أو شبه انزيم ، المجموعة البروستيتية ، مع الإشارة إلى أن شبه الانزيم قد يكون أولاً يكون مرتبطاً بالايوانزيم ، ولكن أحدهما متمم الآخر في المفعول الانزيمي (النظرية الثنائية التي قال بها برتران وهاردن من جهة ويونغ من جهة أخرى) . وبين وريورغ Warburg الدور الذي يلعبه وجود معدن ثقيل . وبالمعنى الواسع يمكن أن يكون الكوانزيم ذرة من معدن أو مثل هذه الذرة داخلة ضمن جزيء معقد (حالة الخميرة التنفسية التي قال بها وريورغ) أو حتى مادة عضوية .

وهناك اكتشاف مهم وهو التعرف على بعض الفيتامينات من مجموعة ب كعناصر ناشطة في الكوانزيم ؛ وهذه الفيتامينات لا يمكن ان تركيبها الاجسام الحيوانية ، واهمية تركيبها من قبل النباتات تبدو بارزة . ويفضل الدور الانزيمي ظهرت اهمية بعض المعادن (مثل الحديد والنحاس والزنك والمنغافيز والمنيزيوم والكوبالت) والمعروفة كعناصر ضرورية للتغذية .

في سنة 1904 بين العالمان الاحيائيان الكيميائيان الانكليزيان آ . هاردن ويسونغ أن الزيماز ، وهو انزيم غير منسجم ، مستخرج من الخمائر (على يد آ . بوخنر سنة 1897) ، يتألف من شقين احدهما ساقط امام الحرارة وغروي وهو البروتين والآخر ثابت امام الحرارة وقابل للانتشار بالماء هو الكوانزيم .

وبينت الابحاث اللاحقة ان هذا الزيمازيحتوي في الواقع سلسلة كاملة من الانزيمات ذات الكوانزيم . واول كوانزيم معروف من هذا المجلد (كوانزيم I ، دي فوسفو- بيريدين نوكليويد أو DPN) قد كشفه اعمال وريورغ واعمال فون اولر ؛ وقد وضع هذا الاخير صيغته سنة 1939 ، هذه الصيغة التي تأكدت بالتركيب (آ . تود ، 1956) . واكتشف وريورغ ايضاً الكوانزيم II ، اي تري - فوسفو- بيريدين نوكليويد أو TPN (1931-1939) . ويتميز الكوانزيمان DPN والـ TPN بإمكانية اختزلهما ، واكسدتهما تبعاً .

والكوانزيم الناتج عن الاسيتيد أو CoA الذي اكتشف ووصف من قبل ف . ليمان (1945-1952) يتحول إلى أسيتيد ثم يرد كما كان . وهذا الكوانزيم موجود في النباتات العليا (ر . سفتز ، 1954) فيبدو كاحد العوامل الاساسية في عمليات الايض الغلوسيدي والدهني والبروتيني ، ويتدخل بشكل خاص اثناء عملية التنفس في صنع حامض الستريك بيولوجياً (س . أوشو Ochoa 1951) . وسنة 1932 قام وريورغ وكريستيان بعزل الأنزيم الأصفر . مجموعته البروستيتية هي الريبوفلافين ، وهو الاستر الفوسفوري في الفيتامين B₂ (ر . كوهن ومعاونوه ، 1935) . ونعرف اليوم العديد من الفلافوبروتين ذات ريبوفلافين في مجموعتها البروستيتية ؛ وبعضها يتدخل اثناء عملية التنفس .

ان الكوكاربوكسيلاز أو DPT (دي فوسفو- تيامين) - هو كوانزيم كاربوكسيلازي (نوبزغ وكاركرزغ 1911. Karczag) ، اساس بيرو فوسفوري للفيتامين B₁ - قد وضع بشكل تبلري من قبل ك . لوهمان وب . شوستر سنة 1937 . وقد تم عزله من الخمائر من قبل انهاجن (1932) Anhang الذي بين دوره في عملية نزع الكاربوكسيل من حامض بيروثيك الممزوج بالاسيتالدييد . وهي مرحلة اساسية في التخمر الكحولي للخمائر ولبعض النباتات . وهذا الكوانزيم يدخل ايضاً في عدة تفاعلات انزيمية مرتطة بالتنفس .

ان الكوانزيمات كلها التي تشكل الزيماز الاساسي تحتوي على فيتامين من المجموعة B ، وهي مشتركة بين المملكتين النباتية والحيوانية . ودراسة تفكك السكاكر - وخاصة الكحولي - ودراسة تفاعليات الاوكسيد المحلل قد اثبتت تعقيد واهمية التفاعل الانزيمية (راجع دراسة ج . ف . لوروا ، الفقرة II ، الفصل VII من هذا القسم) .

وتتدخل الانزيمات البروتوليتيك في الهضم المعدوي الامعائي للاليومين أو الزلايات . وقد امكن الاطلاع على التخصص الدقيق لهذه العوامل التي تسحق خلواً البروتينات فتحولها الى بولي - بيند ثم البولي - بيتيد إلى حوامض امينية . وهناك پرو - انزيم تصنعه خلايا الهانكرياس يجب ان يتحول الى انزيم ناشط لكي يفعل فعله .

وقد تفرز الانزيمات احياناً . وعندها تعمل على مواد خارج الخلايا . وبعض الانزيمات هي صانعة الايض البروتوبلاسمي ولا تخرج من الخلية . ومن المعروف اليوم ان الكوندريوم يحتوي على كل الانزيمات الضرورية للتنفس الخلوي .

وعلم الانزيمات حين يدرس البروتيسست والميكروبات يقدم معلومات ثمينة . ان تحول العضويات الدقيقة يقرن عموماً بتراجع في انزيم معين ، وكل عمليات الايض تجري بصورة طبيعية باستثناء العملية التي لا يمكن فيها تكون مادة معينة لانعدام وجود صانع هذه المادة . وقد ثبت من جهة اخرى ان التعقيد المتدرج في الكائنات من السلسلة الحيوانية يبدو مرتبطاً بخسارة الانزيمات (لوف (1944, Lwoff) : والتطور يعتبر تفهراً كيميائياً احياناً .

عمليات الايض (ميتابوليسم) - لكي تعيش الخلايا النباتية والخلايا الحيوانية فهي تستخدم نفس فئات الخلايا العضوية مثل : الحوامض الامينية ، والسكريات (اوز (Oses الحوامض الدهنية ، التي يسميها م . فلوركين بالاطعمة الخلوية . وبالنسبة الى الخلية النباتية ، تتامن الاغذية الخلوية بفضل نشاط الانزيمات المحيية التي تهاجم البروتيد والغلوسيد والدهون المنبتقة عن التركيب الكلوروفيلي . ويفتذي الحيوان على حساب النباتات أو الحيوانات فيأخذ منها البروتيد والغلوسيد والشحم التي تنفك الى اغذية خلوية بفضل الخمائر الهضمية . وهذه الخمائر تبدو ذات وحدة رائحة في مجمل المملكة الحيوانية . والاطعمة الخلوية الأكثر أهمية من حيث كميتها هي : الغلوسيد والحوامض الشحمية والحوامض الامينية التي تزود الخلية بأن واحد بظاقتها الضرورية لعملها وبالمواد الضرورية لبناء المادة الحية وللنعاية بها وصنعها .

ومجمل الظواهر المتداخلة هنا تشكل عملية ايض الخلية .

ونحن نعرف بقاياه : ماء ، ثاني أوكسيد الكربون CO_2 ، بولية (اوري) . وتفترض الحياة سلسلة من التأكسدات ، انما للحصول أو الانتهاء الى المستحضرات القصوى يجب على المواد الكيميائية المعروضة ان تتجاز سلسلة كبيرة من التحولات : هذا الايض الوسيط يقوم على سلسلة من العمليات السريعة تتم بدرجة حرارة الجسم بفضل انزيمات تلعب دور العناصر المساعدة . وقد تم الحصول على انجازات ضخمة بفضل استعمال التقنيات الجديدة . وقد درس ايض الخلايا خارج الجسم بواسطة جهاز وريورغ⁽¹⁾ ، وقد امكن ايقاف تابغ التطور الكيميائي عند بعض المراحل ، من اجل فهم اسهل للجسام الوسيطة ، فقد تم ، بواسطة الكروماتوغرافيا ، فصل مختلف المواد التي يجب التعرف عليها ، وقد امكن تعبيرها كيميائياً في حالة الكميات البسيطة جداً ، وقد امكن ايضاً تتبع مسارات الذرات وانتقالها من خلية الى اخرى بواسطة النظائر المشعة .

(1) انظر دراسة ج . ف . لوروا Leroy ، الفقرة II ، الفصل VII من هذا القسم .

وقد خزنت الطاقة الكيميائية التي تقدمها الاطعمة الخلوية ، ضمن المركبات التي تطلقها عندما تتحلل (تواصل غني الى حد ما ؛ ليمان ، 1941) . وهذه الطاقة بعد تجزئتها تستخدم بأشكال متنوعة جداً : ميكانيكية أو كيميائية أو كهربائية ، الخ .

وبدراسة التنفس ضمن المختبر ، تنفس اجزاء رقيقة لمختلف الانسجة ، وفقاً لطريقة وريورغ ، امكن تقدير زخم الايض في هذه الانسجة وكذلك ما يحدث فيه من تغيرات . اما التأكسدات التي تطلق الطاقة فانها تجري بوجود الاكسجين المأخوذ من الخارج أو تجري بدونه . وامكن تمييز الخلايا التي تحتاج الى الهواء والخلايا التي لا تحتاجه ، وهذه الاخيرة تأخذ الطاقة اللازمة لها من التخمر . فمئذ ياستور تتبع البحوث من اجل توضيح هذه الظاهرة . ومن المعروف اليوم ، حتى في الاجسام المتطورة ، ان الخلية قد تستطيع ان تكون بأن واحد مكان لعمليات أو تفاعلات امتصاص الهواء أو بدون امتصاصه . ومهما كان شكل الاستقلاب الهديمي أو الكاتابوليسم [مرحلة من مراحل الايض فيها تنفك المركبات العضوية فتعطي طاقة بشكل حرارة أو تفاعل كيميائي مع بقايا] تنفساً أو تخميراً يتم التأكسد الذي يصيب العناصر الخلوية بواسطة خسارة الهيدروجين .

ويتم هذا اللانهدرج [خسارة الهيدروجين] بواسطة انزيمات اكتشفها ت . ثونبرغ سنة 1917 ، وعرفت باسم دهيدراز أو مفقدات الهيدروجين ، مع وجود قايبل للهيدروجين وخلال هذه التحولات تتدخل جملة عوامل مثل الخميرة الحمراء التنفسية التي اكتشفها وريورغ سنة 1924 ، والخميرة الصفراء أو السيوكروم الذي اكتشفه كيلن Keilin سنة 1925 ، وهي ناقلات لأيونات تتدخل بواسطة الحديد الذي تحتويه ⁽¹⁾ .

ان الحدود القصوى للاحتراق التنفسي في الغلوسيد هي CO_2 و H_2O . إن CO_2 أو ثاني أكسيد الكربون ينتج عن فقد الكربون في الحوامض العضوية بفعل عملية ديماستاز ؛ من ذلك ان كاربوكسيلاز نوبيرغ يؤثر في حامض بيروفيك فيعطي CO_2 والالديدهاسيتيك . والماء ينتج عن تثبيت الهيدروجين - الذي ينتزع بواسطة الديهيدراز - فوق الاوكسجين المنشط بواسطة الخميرة الحمراء التنفسية .

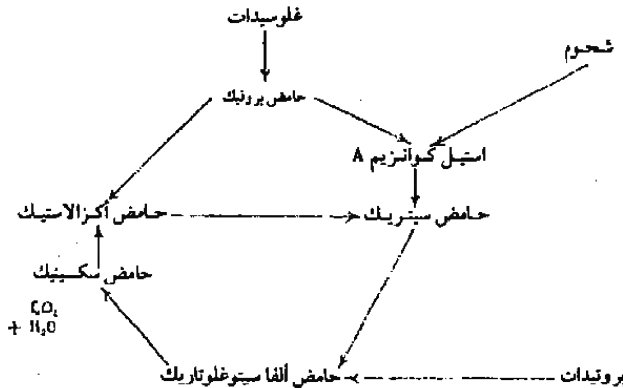
ولم يفهم بعد كل شيء عن هذه التفاعلات الخلوية ولكن المعرفة تتقدم افضل فافضل حول تفصيلات هذه العمليات المتعددة الفيزيائية الكيميائية . فالحوامض الامينية والحوامض الشحمية أو الدهنية يمكن ان تتلقى داخل الخلية تفاعلات تفهقرية تأكسدية مع تحرير للطاقة . ان الحوامض الدهنية تتأكسد على مستوى ذرة الكربون الذي يحتل في الخلية موقع β (بتا) (β - تاكسد ، كتوب ، 1906) ؛ وبعد سلسلة من التحولات يتكوّن اسيد استيك يتفهر بذاته ليتحول الى CO_2 و H_2O اي ثاني أكسيد الكربون وماء (راجع بهذا الموضوع الفقرة VII ، الفصل XI من القسم الثاني والفقرة X ، الفصل II ، القسم الخامس) .

(1) ولزيد من التفصيلات حول التأكسدات البيولوجية راجع دراسة ج . ف . لورا .

ان الحوامض الأمينية تتأكسد ويتنزع منها الامين ، وتنشق ؛ فالمجموعة الامينية NH_2 ، تنحدر بشكل امونياك قد يؤدي الى البولة (أوربي) . اما الباقي فيتأكسد بشتى الطرق وينحول الى H_2O و CO_2 . ان هذه التحولات المختلفة تتم بفضل سلسلة من ديامتاز ، وقابلات الهيدروجين وناقلات الالكترونات . ان اعمال العديد من الباحثين وخاصة زنت - جيورجي ، وهنس كريس H. Krebs ، وك . وج . كوري Cori ، دلت على ان الطرق الايضية لتأكسد الاغذية الثلاثة الرئيسة تتلاقى باتجاه اوالية مشتركة هي الدورة تري - كربوكسيليك المسماة دورة كريس . رأى هـ . كريس ، التي تعود اعماله الاساسية الى سنة 1937 ، غاية محددة في مثل هذا الترتيب : فالدورة التريكاربوكسيلية هي اداة داخل تفاعلية توحيد الطاقات الكيميائية الغذائية نحو ATP .

وهذه الدورة كما تظهر في الصورة رقم 32 تمثل التأكسدات عبر المرور بعدة مراحل : حامض سيتريك ، حامض ميس - اكونيتيك ، حامض ايزوسيتريك ، حامض الفا - سيتو - غلوتاريك ، حامض سكسينيك ، حامض فوماريك ، حامض ماليك ، حامض اوكزالاستيك . ان الحدود الثلاثة الاولى تمتلك $3COOH$ (تريكاربوكسيل) . عند مثل هذه الدورة تنتهي مشتقات الاطعمة الثلاثة عبر أبواب مختلفة .

ان الاستيل - كوانزيم A قديمخل ضمن الدورة بواسطة حامض سيتريك ، وقد يتأى من ثلاثة انواع من الاطعمة العضوية . وكل هذه التحولات تسهل عمليتها بواسطة انزيمات ذات مفعول ارتدادي . فالغلوسيد يأتي بواسطة حامض بيروفيك : عن طريق التخمر اللاهوائي ، يؤدي هذا الحامض البيروفيكي الى حامض لكتيك أو كحول ؛ وفي حالة التفاعل الهوائي يذهب الى دورة كريس . ومجمل القول ، ان كل هذه التفهقرات تنتهي الى مفترق مشترك : « بركة » أو ملتقى ايضى . ويشكل حامض بيروفيك « الصفيحة القلابة » . ان اهمية الاستيلو كوانزيم A تكمل وتحدد هذا المفهوم اكثر مما تغيره .



صورة 32 - دورة كريس Krebs .

وفي الخلية تحوّل الطاقة الكيميائية التي تقدمها الاطعمة الى اشكال اخرى من الطاقة، الامر الذي يتيح العمل الميكانيكي في العضلة ، والعمل الامتصاصي بخلال الافرازات والعمل الكيميائي بخلال التركيبات العضوية ، والعمل الكهربائي في الجهاز العصبي ، الخ . ولكن ، ولتلقى مثل هذه التحولات ، يجب ان توضع الطاقة الكيميائية بشكل خصوصي ذاتي (وريورغ ، 1913 ؛ بنسلي Bersley وهوو Hoerr ، 1934) ، اي بشكل طاقة اتصال فوسفاتية في ATP .

يقول كريس : « ان التأكسد الفوسفوري ، اي التحول من فوسفات معدنية الى فوسفات عضوية بخلال التنفس الخلوي هو سلسلة مهمة من التحولات في طاقة المادة الحية » .

ان الفوسفات العضوي الأساسي ATP يتكون في كل الحالات وهو يتزاوج مع التأكسدت . وهناك علاقات كمية وثيقة بين التأكسدت والفسفرة اي التحول الى فوسفور . وقياس هذه العلاقات صعب ، في الأنسجة الحية ، لان ATP يفسد بسرعة عند تركيبه . ومع ذلك فقد امكن قياس النسبة بين الاكسدة والفسفرة اثناء تأكسد مختلف المواد الوسيطة التي تشارك في الايض الخلوي .

الاستقلاب البنائي أو الانابوليسم [مرحلة في الايض تتضمن ظاهرات الامتصاص] - ان المختبر الخلوي هو محل كيمياء فيزيائية معقدة ، من اجل تكسير الاطعمة بغية استخراج الطاقة منها عن طريق الاكسدة . ولكن الخلية تستعمل قسماً من هذه الاطعمة للقيام بتركيبات سيتوبلاسمية [اي نسج بلاسمي] . والتركيبات الكلوروفيلية تكشف انه في التفاعلات المؤدية الى تشكل الغلوميد والدهن والبروتيند بواسطة النبتة الخضراء ، يلعب الحامض الفوسفوغليسريك ، وحامض البيروفيك دور الوسيط ، بفضل ارتدادية التفاعلات المساعدة (الديستازية) .

ان الخلية الحيوانية تؤمن تركيباتها الكيميائية بواسطة الطاقة المحررة بفضل تاكسدت التكسير . ويمكن بخلال هذه التركيبات ملاحظة الانتقال من فئة من المواد الى فئة اخرى : هناك مثلاً حوامض امينية مكونة للغلوكوز : وقد يؤدي الألانين الى حامض بيروفيك وهذا بدوره الى الغلوكوز . وكذلك قد يؤدي الغلوكوز الى الحوامض الدهنية . ان تركيب البروتينات كان موضوع العديد من البحوث .

فالخلايا التي تصنع هذه المواد غنية بحامض ريبي نواتي أو ARN (اعمال كامبيرسون حول الخلايا الكيميائية (1936-1941) ، واعمال ج . براشيه (1940-1950) . وتركيب الروابط البروتينية يرتدي صفة اندرغونية endergonique : ان الـ ATP الذي تقدمه الميتوكوندري يقدم الطاقة اللازمة . ان دور ARN هو اقل وضوحاً ؛ فهذا الحامض المتجمع في الميكروسوم من بلاسما الخلية (سنويلاسم) يبدو كنموذج اي كقالب . ان الخلية الحيوانية تستطيع صنع بعض الحوامض الامينية على حساب السيتوأسيد ، المشتقة من الكاتابوليسم في الغلوميد والحوامض الدهنية . ولكن الجسم عاجز عن صنع بعض الحوامض الامينية الدورية مثل التريبتوفان ، والليزين

والهستدين والارجينين : وهذه كلها تستقى من الاطعمة النباتية وتمثل الحاجة النوعية الى الازوت .

وهكذا ليست التركيبات التي تحقها الخلايا الحيوانية الهيتيروتروفية [اي الكائنات الحية التي تغذى بالمواد العضوية كالحيوانات والنباتات ...] الا جزئية ، وهي تتم انطلاقاً من المستحضرات العضوية المموصصة ، أو على حساب البقايا أو الفضلات الباقية من الكائنات بوليم . ونمتلك بعض المعلومات حول تشكل البنيات البسيطة مثل : الغلوكوز والحوامض الدهنية ، والستيرول ، والحوامض الامينية ؛ والطريق المتبع هي عكس طريق تدميرها . ان التداعي عن طريق الاتصال ، في هذه القطع الأساسية ، يؤدي إلى سكريات مركبة وإلى ببتيدات متعددة ، وإلى شحومات حيادية . اما الخلايا الكبرى فان بناءها الهيكلي المنتظم يقتضي قالباً مناسباً : فالتركيبات البروتينية تعمل ، في الخلية ، الحوامض النووية وحامض A. T. P . وكل هذه الطرق الايضية ، سواء خربت أو جمعت ، تتشابك . والتوجه يتم بتقاطع يمكن تصور أهميته وأهميته تنظيمية .

الاعمال الفيزيائية - ان الحركة الخلوية تحدث تغييرات في الضغط السطحي وتغييرات في الرطوبة أو اللزوجة . وتأثير العوامل الفيزيائية والكيميائية حول التوجه يعود إلى مسألة توجهات وسلوك الكائن الحي .

ان بعض الخلايا تظهر في عملها اعمالاً اخرى فيزيائية . احدث التيار الكهربائي بواسطة العصب والعضل الناشطين معروف تماماً . وقد اتاح التقدم التقني الاساسي المحقق بخلال القرن العشرين ، وهو تضخيم هذه التيارات بفضل لمبات تريود [انبوب كهربائي ذو ثلاثة مسارب] وتحليلها بواسطة المسجل التارجيحي الكاثودي ، تسجيل التيار الذي تعطيه خلية عصبية واحدة . وقد درس القرن التاسع عشر النبضة الوحيدة الصادرة عن تحفيز العصب صناعياً . وقد بين العلماء اليوم ، ضمن الشروط الفيزيولوجية ، ان النبضات تتألى بشكل « قطارات من الموجات » . واخيراً اصبح تسجيل الموجات الدماغية الفجائية شائعاً في الاستخدام لدى الانسان (راجع بهذا الموضوع دراسة ر . دوبري ، وج . ديوكوا ، الفقرة ٧ ، الفصل الاول ، القسم الخامس) .

الموت الخلوي - ان سيف الموت المسلط الذي يترصد كل عنصر حي قد تم تحليله ايضاً . ان التوقف المؤقت في الوظائف الحيوية يمكن الحصول عليه بواسطة التجميد المقرون بالترشيح ، وتعيد التدفئة النشاط من جديد . في جسم الراشد الكائن عالي التنظيم تحدث بدون توقف ميتات جزئية لا تحصى ، مقرونة باستبدال الال للعناصر الميتة . وحتى بعد توقف القلب ، يبدو الاحياء من جديد ممكناً عند الانسان وعند الثدييات . ومنذ التصور الويزماتي لسلسلة نطقوية مستقلة عن السوما [مجموعة الخلايا التي تكون الجسم] القابلة للتلف تعتبر النطقة او المضغة وكأنها مزودة بخلودية كاملة . ولكن الخلايا السوماتية بذاتها تتكاثر بدون حدود في المختبر ، وكذلك الهرونيست [احدى الممالك في الكائنات الحية وتحتوي على الكائنات الوحيدات الخلية] ، ضمن ظروف ملائمة .

ان تقنية الزراعة التي وصفها كاريل قد اثبتت وجود مبدأ شايبي دائم في النطقة المتطورة

(الفوتوس) ، وزوال هذا المبدأ هو سبب العجز الخلوي . وتحاول البحوث الحديثة استكشاف التركيب الكيميائي الدقيق لهذا المبدأ .

II - زراعة الانسجة

ان زراعة الانسجة ، اي الحياة والتكاثر داخل المختبر للخلايا المستخرجة من جسم ما هي من صنع القرن العشرين حصراً ، وقد نقلت عن زراعة البكتيريا ، التي اتاحت لباستور ان يبين عدم وجود الخلق المباشر . في سنة 1903 حفظ ج . جولي خلايا كرويات حمراء ، من التريتون ، في وسط سائل وراقب حركتها وانقسامها . وفي سنة 1907 غطس ر . ج . هاريسون خلايا عصبية نظفية من الضفدع في اللف المجدد ورأى نيرو بلاست تتحول الى خلايا عصبية راشدة مع امتداداتها . وزرع م . ت . بوروس Burrows خلايا نقطة فرخة في بلاسما دم .

وابتداءً من سنة 1910 اعطى آ . كاريل ، وفي اغلب الاحيان بالتعاون مع بوروس ، للطريقة ذاتها تقدماً ؛ ان اكتشافه الحاسم (1912) وهو اضافة مستخرجات نظفية (تريفون) الى الوسط المستخدم ، سهل بشكل عجيب نمو الخلايا .

وهكذا تم تحديد الشروط الاساسية التي يجب اعمالها او توفرها : دعامة متينة تسبح في وسط سائل ، وغذاء ودرجة حرارة مناسبين ، ثم حرية المبادلات الغازية ، واستبعاد الرواسب ، واستحداث المناعة التي من شأنها منع كل تضام ميكروبي في العناصر النطفية . ومن بين التحسينات التفصيلية ، نذكر « الزراعة ضمن انبوب دائر » (Gey 1933) .

ومنذ 1945 حررت المبيدات العضوية الممارسين من الانشغال بالمناعة الدقيقة . ان الدعامة الليفية قد استبدلت بمواد لدائية بشكل شرائح رقيقة . واستعملت اوساط تركيبية معقدة جداً . وبصورة متزايدة اصبحت زراعة الانسجة وسيلة ثمينة للاستقصاء في يد عالم الانسجة والمتخصص في الاجنة وفي علم الامراض .

سنة 1912 وحتى سنة 1939 شغل كاريل Carrel قاعدة جدر في فيبرولاست من فرخ فأنبت ان الخلايا المعزولة عن الجسد هي غير قابلة للموت جذرياً . ولكن الانتشار الهائل الذي بدا على سلسلة من العناصر المتتقة (الزراعة الخالصة) قد تقلص بعنف امام الاتصال بمجموعة اخرى نسيجية (او ما يسمى بالزراعة المختلطة) . والعناصر التي تتحكم بالتفريق ، عند نامي الجنين ، أو عند الراشد ، قد حلت ضمن ظروف تجريبية مثالية : ان الاثر الحاض في الشفة المشفرة الخلوية ، المبين في المختبر على يد هولتفريتر Holtfreter الذي استحض عن طريق الزراعة اكتشاف سبيمان Spemann الاساسي ، والتفريق الفجائي بين نسيج القلب العضلي وعظم الفخذ ، والمكامن في الخلايا الدموية (ماكسيمو ويلوم) ، هي معطيات حصلت وقدمت بين ستي 1925 و 1937 .

ان زراعة الانسجة - حين اتاحت الحصول على قشرة رقيقة من الخلايا ، قابلة للملاحظة وهي حية ، تمايزاً مع الحال أو الوضع - سهلت دراسة العوامل الضرورية للتغذية ، ودراسة تأثير

الاشعاعات ، وأثر العوامل التي لا تساعد على انقسام الخلايا ، وتعداد الكروموزوم (الصغيات) البشرية ، الخ . . .

وفي مجال الامراض نذكر بعض الانجازات : تحديد المرضية الخلوية ، ملاحظة اندماج البلعومات الكبيرة في « خلية عملاقة سلية » عندما نضيف عصويات كوخ (ماكسيمو) ، الخ .

واخيراً اتاحت هذه الطريقة في الخلايا زراعة فيروس هي من نوع الطفيليات الضرورية وذلك لغايات متعددة مثل : عزل وحفظ الجذور الفيروسية ، وتضعيف الفيروس بقصد التلقيح ، وتحليل الايض الفيروسي ، الخ .

ويجدر ايضاً ان نذكر زراعة الاعضاء أو النماذج العضوية التي سبق اليها هـ . ب . فل . وهذه التقنية قد طورت منذ 1951 خاصة في مختبر آ . ولف . يقول هذا الاخير « ان هذه التقنية قد اتاحت احياء وتطوير مجملات متماسكة ، وقد استبعدت الانتشار غير المتناسق للانسجة أو تكاثرها » وقد امكنت ملاحظة التآلف بين الخلايا المختلفة من اجناس مختلفة . كما تم تحقيق اجتماعات بين أورام في ثدييات وأعضاء جنينية في الفرج ، وجذور سرطانية بشرية في أحشاء عصفوري . وهكذا تكشف انعدام التعارض الجنيني ، خلافاً للمعطيات التي يقدمها التطعيم .

III - نقل الحياة

ان ظاهرة التوالد الذاتي تبدو كسمة اساسية في الحياة ، وسرها الغامض هو الذي يميزها عن المادة غير الحية . وقد شبت ظاهرة الحياة بتفاعلية نقلية تستعيد تماماً النموذج الاساسي .

التكاثر الخلوي : المينوز - في القرن العشرين امكن توضيح مدة مراحل التكاثر الخلوي أو المينوز تجريبياً على خلايا حية . وانه بعد استعمال « فرق الوضع » امكن تتبع صور مسار هذه العملية بسهولة ؛ وقد تم بذات الوقت رصد الحركات السريعة ، وتبادل الكرات الاميبية اثناء العملية . وكان الميكروسكوب الالكتروني مفيداً جداً في هذا المجال .

واخيراً عكف على وصف وتصنيف النماذج الخاصة ، في البروتست أو وحيدات الخلية ، بالنسبة الى الاقسام المراقبة بواسطة الميكروسكوب الوسطي . ومن ناحية الاواليات الحميصة اعتبر تدخل السترومييرات ، وهي حبيبات تربط الصغيات أو الكروموزوم بالمغزل ، وكأنه ينشأ عن حركية التنقل الكروموزومي .

ويتعلق التحكم في التكاثر الخلوي ببعض العوامل الفيزيائية . فهناك مواد مختلفة كيميائية تؤثر في عملية المينوز أو التكاثر .

ان اشعة X والرايديم تؤثر بقوة في الخلايا المنقسمة : من هنا استخدامها في معالجة الورم السرطاني . وهناك اشعة ميتوجينية ذات طبيعة غامضة قد اكتشفت ؛ وهي تنبثق عن خلايا في حالة التكاثر فتولد من بعيد تكاثرات اخرى .

لقد اوضحت تجارب كاريل التحريض على التورم بواسطة المستخرجات الجنينية . وقد تم اكتشاف الحاجة الى بعض الحوامض الأمينية التي لا يستطيع الجسم صنعها مثل التريوفام . ان بعض الهرمونات المسماة ميتوجين ، تؤثر على نمو الجسم عموماً مثل : السوماتروفين والتيروكسين الخ . وهناك هرمونات أخرى تؤثر في اللاقطات الخاصة مثل الاستروجين في المبيض . ومنذ الأعمال التي قام بها ياماجيو Yamagiwa وايشيكواو Ichikawa (1917) ، امكن تحضير اجسام تاكل السرطان ، واشهرها الكربورات المتعددة الدورات . وهناك عوامل مزيلة للتخدير كانت موضوع بحث واستقصاء : التريافلائين (هرتويغ ، 1913 ؛ داستين ، 1925) ؛ وملونات قاعدية (بوليتزر ، 1924-1934) ؛ السزونيخ (لودفورد 1936) ، الكولثيسين (ليتس ، 1933 ، داستين ، 1934) ؛ المضادات المستقبلية (مارتن 1951 ؛ روبلين ، 1954) ، الخ . البعض منها يؤثر في المنزل فيجمده في حالة الميتافاز ، والآخرى تؤثر في الصبغات فتعمل على فصلها وعلى تجزئتها ؛ وهناك أخرى تمنع السيوديريز . ونرى أهمية مثل هذا السلوك في البحث من أجل محاولة اكتشاف معالجة طيبة للأورام في علم الأمراض البشري .

ان التحكم بمختلف فئات التكاثر الخلوي يتنوع ومن الواجب تمييز التكاثر الانشطاري عن النمو ، عن الشام الانسجة ذات التجدد المستمر عند الراشد ، واخيراً يجب تمييز التكاثر الپلازمي الجديد .

وهناك عدة مكونات لتفاعليات الانقسام الخلوي ، نجب رؤيتها : تمثل المواد ، الايض غير الكامل الذي يكون بروتويلاهما خاصة ، والذي هو مسألة ايضية ؛ وكذلك التكاثر الذاتي في الاعضاء الخلوية ؛ ونقل الموروثات الثابتة الى الخلايا الوليدة .

التوالد الذاتي في الاعضاء الخلوية - ان القدرة على التضاعف أو التكاثر هي الميزة الاساسية في الحياة ؛ والاستمرارية التخلقية تبرز على صعيد الخلية . فالستروزوم والكروموزوم هي المكونات الخلوية التي لا شك في استمراريتهما التخلقية .

ومعارفنا حول طبيعة الستروزوم ما تزال غير كافية .

نحن لا نعرف الا القليل من الاشياء من موضوع تركيبها الكيميائي . ولما كان الريبونوكلياز يجمد الميتوز أو التكاثر محدثاً مفارقات في الجهاز الاكروماتي ، يستنتج من ذلك ان الـ A.R. N في الستروزوم يلعب دوراً في تكاثره .

ان الجهاز التكاثري وليد الأستروالمغزل ، هو على العموم محب للركائز أكثر من بقية اقسام الميتوبلاسم . وقد امكن عزله كتلة ، وعثر فيه عن طريق الكيمياء على A. R. N وعلى بروتينات كروية تتحد جزئانها بواسطة وشائج يدخل فيها الكبريت . "وفي سنة 1931 افترض رابكين ان الأستروالمغزل تنتج عن تغير في الطبيعة ارتدادي ، طبيعة البروتين تحت تأثير مجموعات سولفهدريل . ان الكولثيسين يمنع تشكل الالياف المغزلية .

ان الكروموزوم ليست ضرورية للدورة التكاثرية في الجهاز اللاصفي . وهي دعامة الثروة .

الفردية فنقلها الى الخلف بواسطة ظاهرة التكاثر الذاتي . وتلاحم المعطيات السيولوجية أو الخلوية التجريبية والبيوكيميائية ادى الى اعطاء مكانة فضلى لـ ADN في هرم القيم الحيوية .

IV - الأشكال تحت الخلوية في الحياة

1 - الميكروبات

لقد عُرِفَ القرن التاسع عشر بعالم ميكروبي له اشكاله الميكروسكوبية الفردية ، التي تعطي زراعات في المختبر مزودة بنشاط ابيض ينتهي الى تخمرات والى عوامل فاعلة في امراض معدية كثيرة .

في القرن العشرين استكمل جدول البكتيريا بعد اكتشاف ميكروبات امراضية مثل تريپونيم السفلس على يد شويدين سنة 1905 ، وعصية السعال الديكي على يد بورديه وجينغو سنة 1906 ، وميكروبات الحميات التيفودية - الطفحية (هـ . ت . ريكس ، 1906-1910) والعديد من الانواع التي تعيش بشكل نباتات متعفنة في الاوساط الخارجية . ووصف الميكروبات النباتية في الماء ، وفي الهواء وخاصة في التربة له اهمية كبيرة في علم التربة Pédologie ، وكان هذا الوصف مفيداً ايضاً من اجل البحث المنهجي عن البكتيريا وعن الستريبوسميس التي تنتج المضادات الحيوية (س . آ . وكسمان 1944) . ان الحاجة الى التصنيف بدت اكثر الحاحاً وادت - باعتماد التعداد المزدوج الاسم التقليدي - الى اعمال كل من : د . هـ . برجي 1923 وبريفو ؛ هذه المنهجية تأخذ من الاعتبار بأن واحد علم التشكل ، سمة الزراعات وخاصة النشاطات الايضية في الميكروبات ، اي تجهيزها الانزيمي وتركيبها الكيميائي .

وهذا الوصف للنباتات الميكروبية ، ودراسة الشروط البيئية في تغيراتها ، وتقدم تقنيات التعقيم كان لها صدى في الصناعة (التخمرات ، الاجبان ، المحفوظات الغذائية المعلبة) وفي مشاكل الصحة العامة (مياه المشروبات ومياه المجاري ، والحليب) . ان فهم اهمية ظاهرات التعقيم كان له تطبيقات عملية علاجية مهمة .

ان الدراسة الخلوية للبكتيريا أدت الى استبدال المفاهيم المضللة في الكائنات الحية البسيطة جداً بمفاهيم الخلايا الكاملة المكوّنة من نسيج خلوي بلاسمي ومن غشاء نسيجي معقد ومن نواة . واذا كانت بنية النواة بسيطة جداً ، فانها رغم ذلك مكونة من ADN ، كما هو الحال بالنسبة الى الكائنات الحية العليا . وفي الواقع ان وجود جسم مركزي يعطي تفاعل فولجن ، قد ثبت (روبينو Robinow 1944) . وبين يوفان واعوانه (قيل 1947) ان الريبونكلياز يستبعد التلوينية أو الاستعداد التلويني السيترولاسمي الذي قال به جيمسا Giemsa ، مع احترام هذه التلوينية في الجزئيات النووية ؛ مما يثبت وجود ARN السيترولاسمي .

ان التقنيات البيوكيميائية وخاصة تقنيات علم الانزيم ، قد استخدمت جداً في علم الميكروبات . ودراسة عمليات الايض الوسيطة تقدم فائدة تجاوزت اطار علم البكتيريا وحده . نذكر ايضاً : تفاعليات التأقلم أو التكيف بواسطة فقدان الوظائف ، وهي تفاعليات تتوافق مع الفقر

الانزيمي (لوف 1944) ونذكر أيضاً عمليات الابيض الاساسية ، وعوامل النمو (وودس Woods ، فيلدس Fildes⁽¹⁾) مع تطبيقاتها على المعالجة الميكروبية البيولوجية للفضائيات وعلى تفسير اوالية الكيمياء الاستطباية بواسطة السولفاميد . وهكذا تصبح الميكروبات بالنسبة الى الكيميائي الاحيائي اداة دراسة ثمينة جداً ، سواء تعلق الامر بالبكتيريا ذاتية التغذية وبالمظاهر الكيميائية التركيبية أو تعلق بتفاعلات التخمر . لقد اتاح التقدم ، في معرفة النشاطات البيوكيميائية المتنوعة لدى الميكروبات ، فهم شروط مسكنها في الاوساط الخارجية او في الحياة الطفيلية ، وكذلك مسألة الفتك الميكروبي . وقد استفاد علم المناعة ايضاً من الطرق الكيميائية (المناعة الكيميائية ، لاندمستيز Landsteiner) .

وهكذا دخلت البيولوجيا الميكروبية بالبيولوجيا العامة . فاستعارت تقنياتها من مجالات عدة : الكيمياء الاحيائية (بيوكيمياء) ، وخاصة علم الانزيمات ، والفيزياء الالكترونية وعلم الخلايا الرصفية والتجريبية ، والوراثة والاحصائية . وبذات الوقت ، انقسمت الى فروع متميزة : علم البكتيريا الطبي ، علم الميكروبات المتعلق بالتربة ، البيوكيمياء الميكروبية ، الوراثة الميكروبية ، علم المناعة ، الخ . ونهضتها برزت من خلال اسناد جائزة نوبل الى علماء في الميكروبات .

2 - الفيروسات والحياة الأولية

ان وجود اجسام صغيرة جداً غير مرئية بالميكروسكوب قد فرض نفسه لأول مرة في فكر باستور ، عندما فشلت كل محاولات اثبات عامل الكلب . وقد توصل آخر القرن التاسع عشر الى كشف هذه الاجسام بطريقة غير مباشرة : ان هذه الكائنات الطفيلية ، بعد سحق الأنسجة التي تحتويها ، تخرق المصافي ، وتنقل بعد الرزق ، المرض الذي تحمله : من هنا اسم الفيروسات الراضحة الذي اطلق عليها .

ان علم الفيروسات قد احرز في القرن العشرين تقدماً مهماً . وتوجد فيروسات مسؤولة عن بعض الأمراض المعدية أصغر وأبسط من البكتيريا⁽²⁾ . لقد أتاح الميكروسكوب الالكتروني دراستها مباشرة .

خصائص الفيروسات وتصنيفها - ان شكل الفيروسات متنوع . وامكن بفضل المركبة الدائرية [جرن التشيف] تحديد حجمها ، وهو يتراوح بين أحجام الماكرو جزئي (8 إلى 12 μ م) بالنسبة الى فيروس الحمى القلاعية ؛ لوفر Loeffler وفروش (1897) وبين حجم ميكروب صغير 400 μ م بالنسبة الى فيروس مرض نيكولا وفاشر (Faver, 1913) . ان ملتهم البكتيريا الذي اكتشفه

(1) ان النمو المتوازن في البكتيريا يتأمن بسلسلة من الاواليات المتناسكة ، تحفز او تعطل تركيب البروتينات . واضافة الميثيونين ، والأرجينين ، والفريثوفان ، الى زراعة البكتيريا ، تحدث تبليغاً أو توقف تركيب الانزيمات التي تؤمن سلسلة من التفاعلات المتعككة بتشكيل هذه البروتينات .

(2) راجع ايضاً ، بهذا الموضوع دراسة و . دوبري وج . ديوكوا الفقرة VII ، الفصل I ، القسم الخامس .

ف. هيرل (Hérelle) (1917) يتألف من رأس مدور مزود بذنب ، ولكن غالبية الفيروسات هي أكثر بساطة : عصيات ، خيطيات او كرويات .

وشبه التركيب الكيميائي للفيروسات الكبرى تركيب الميكروبات . وبسطها تبدو وكأنها ريسو- نوكليو- بروتين خالصة ؛ وهي تستطيع ان تثير . ان « نيسفاس » النسخ ، وفسفاس اللفت ، تعزى إلى فيروسات امكن عزلها بشكل بلورات (و . م . ستانلي ، 1935) . هذه البلورات تحفظ ضمن أنابيب مختومة ، وليس لها حياة خاصة بها ؛ ولكن اذا ادخلناها في خلية نباتية فان الفيروس ينتشر ويتكاثر ويتسبب بالمرض .

ان خصوصية الفيروسات تظهر للعيان من خلال الامراض المتنوعة التي تحدثها (الكلب ، الكساح ، الحمى الصفراء ، الحمى القلاعية الخ) . وكذلك بفضل خصائصها المضادة ، ويتميز النوكليوبروتين الذي يؤلفها بطبيعة ركائز الحامض النوكليك ، وبطبيعة الحوامض الامينية في البروتين . وقد تم تعداد سبعة اصناف من اكالات البكتيريا التي تهاجم « الأيشريشيا كوللي » (ت 1 حتى ت 7) . ويتيح شكلها توزيعها الى اربع مجموعات تتطابق مع المجموعات المضادة التي يمكن تقيدها فضلاً عن ذلك . ان الفيروسات هي طفيليات خلوية داخلية ، اضطرارية ؛ واليوم تزور على مادة نسيجية .

وقد صُنِّفت ، تبعاً للمضيف الذي يأويها ، الى مجموعات اربع كبرى هي :

1- فيروسات ممرضة للنباتات الدنيا (البكتيريا) : اكالات البكتيريا (رو . 1917 Roux) ؛

2- فيروسات ممرضة للنباتات العليا : فيروسات المزروعات ؛

3- فيروسات ممرضة للافقرات : فيروسات الحشرات ؛

4- فيروسات ممرضة للفقريات مع انتحاء البعض منها تبعاً للمنشأ الجنيني للنسيج الحساس . ومن بينها يمكن تمييز خمس مجموعات : فيروسات انحرافها أو ميلها نحو الجلد الخارجي (جدري البقر والجدري) ؛ فيروسات تعيل للاعصاب الخالصة (الكلب) ؛ فيروسات تصيب الاعشية الداخلية (لاففو- غرانولوماتوز تناسلي عند الرجل الخ) ؛ فيروسات تفنية (الحصبة ، حمى ، الخ) ؛ فيروسات تكاثريات (ورم رو ، 1910 ؛ تكاثر الكريصات ، تكاثر الخلايا البيضاء في الدم ، الانتقالية ، ثؤلول ، الخ) .

نوبء الفيروسات الخلوية حين تسلل اليها من الخارج ؛ وقد تخرج منها لاحداث العدوى بطريقة البكتيريا . ان التسرب داخل الخلوية متبوع في اغلب الاحيان بكمون طويل قبل ظهور المرض . وهذا الظهور مرتبط باعمال مدمرة للخلايا في بعض الاحيان كما هو الحال في الكساح ، أو محفزة للخلايا ، كما هو الحال بالنسبة الى الفيروسات المولدة للاورام . ويمكن التثبت من الاصابات الخفية بزلات الفعل المصلية . والاصابات الخفية منتشرة جداً . وتفقد الفيروسات الكامنة تنظيمها التشكلي وتنقلب الى جزئيات نوكليوبروتينية شبيهة بالجينات . هذه الفيروسات الخفية تندمج في الحياة وفي بنية الخلوية . وقد ينقلب الفيروس الخفي إلى فيروس متكاثر عن طريق التشعيع أو بآثر كيميائي ، أو عفواً وفجأة .

الفيروسات ومسألة الحياة - هل يمكن ان تتوجد الحياة خارج التنظيم الخلوي ؟ تطرح المسألة فقط بالنسبة الى الاشكال الفيروسي . ففي الطرف الأدنى من السلم ، تبدو الفيروسات جزيئات صغيرة جداً ذات بنية منسجمة وذات تركيب ثابت ، وقد تكون او تتوجد بشكل بلوري دون ان تفقد شيئاً من قدرتها المويثة . في الطرف الاعلى ، تبدو الفيروسات ذات الحجم المقارب لحجم اكبر الخلايا البروتينية ، كاجهزة ذات بنية وذات شكل معقد مع وجود تنظيم قريب جداً من البكتيريا اي من الخلايا . ان اغلب الفيروسات الامراضية للانسان والحيوان تقع بين هذين الطرفين .

هناك عدة أسئلة قيد الدرس تتصدى لمسألة الحياة بالذات ، منها : الرابط بين البروتين والحامض النووي (النوكلييك) ، التكاثر الفيروسي ، الوراثة الفيروسي ، التزاحم بين الفيروسات والاعضاء الخلوية .

1 - في فيروس فسيفساء التبغ ، يقع القسم النووي بين غلافين بروتينين . وقد امكن فصل المكونتين الكيميائيتين واعادة مزج الـ ARN [اي حامض الريبونوكلييك] في فيروس « پلاتين » Platin مع بروتين فيروس موزاييك (فسيفساء) التبغ : ونصل الى جرثومة تسبب باعراض « الپلاتين » وتدل على الخصائص المضادة لفسيفساء التبغ . ولكن هناك اكثر : الـ ARN ، اذا كان يستخرج بشكل مدبر بما فيه الكفاية ، فانه يبدو موثقاً بذاته .

2 - ونتاج الفيروسات يشكل مسألة رئيسية في علم الاحياء الحالي . وقد توضحت آليته في آكلات البكتيريا .

ان أكل البكتيريا يتعلق بذيله فوق سطح بكتيريا ، ثم يفرغ نفسه ، وينقل محتواه الى داخل البروتوبلازما البكتيرية في حين يبقى جلده معلقاً بالسطح .

بعد هذه الحقبة الكمونية ، فجأة تظهر داخل البكتيريا حييات عدة تعبد المظهر النمطي للجزيئة الأصلية الاولى . وبعد لحظات تنفسخ البكتيريا محررة ملتهبات البكتيريا . وتبدأ الدورة من جديد على بكتيريا جديدة .

ويقرر التحليل الكيميائي للظاهرة ، بواسطة عناصر موسومة ، ان الـ ADN ، بصورة اساسية ، هو الذي ينتشر في هيرلي الخلية : ان تكاثر الأكل ، الذي يتم تحت تأثير ما فيه من AD N ، يحصل اذن على حساب ايض الخلية المضيفة .

والبحوث تبدو اقل تقدماً فيما يتعلق بفيروس الحيوانات ؛ إن اوالية تناسلها لا تختلف كثيراً عن اوالية الالكلات . ان ظاهرة اختفائها ثابتة . ويدل الميكروسكوب الالكتروني ان الجزيئات التي تسرت الى داخل الخلية المهاجمة تذوب تماماً . ولا وجود للتكاثر عن طريق الانقسام الثنائي ، بل اعادة توزيع لمكونات حشوة الخلية ، مع تكون جزيئات جديدة من الفيروس .

ان تفاعلية التكاثر الفيروسي قد تحصل في الحشوة او في النواة . ويظن انه قد ثبت فيها حصول جزيئات غير معدية ، وهي فيروسات غير مكتملة أو « بروفيروس » (= بدء فيروس) ،

يمكن نقلها كما تنقل الاجزاء الپلمسوية الناقلة للوراثة (نقل فيروس الحسامية من ثاني اوكسيد الكربون (CO₂) ، ونقل العنصر الپني كما قال بيتر Bittner لسرطان الثدي ، 1936) .

3 - ان الوراثة في الفيروسات قد عولجت من زاوية التهجين ومن زاوية النقل (راجع ايضاً دراسة آ . تري الفقرة I ، الفصل IV من هذا القسم) .

وقد تبين ان أنماطاً وراثية جديدة تولد في كل مرة تختلف فيها الأنماط الأبوية في صفتين . فقد تم تحقيق انتقالي نحت تأثير الأشعة . منذ 1952 افترض لوريا ان قسماً من آكلات البكتيريا يحتوي عدداً ما من الوحدات ذات التناسل الذاتي ، قادرة على تلقي انتقال مميت تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية . وقد حسب العدد الأدنى من الوحدات (n) التي تحتويها جزيئة من أكل البكتيريا (25 في T₂) .

يؤدي التحليل التجريبي الى افتراض ان الوحدات تتكاثر بصورة مستقلة لكي تشكل مجموعة من الجينات انطلاقاً منها يمكن ان تكون جزيئات جديدة ناشطة . وبالنسبة إلى فيروس الرش (الزكام) تم حساب ان كل جزيئة تحتوي على جينة كبيرة أو عدة جينات كبيرة يحتوي كل منها على الأقل عشرين جينة .

4 - ان الفيروسات بحكم عجزها بذاتها عن القيام بتبادل الطاقات الضرورية لتكبياتها ، فما هي الآليات الخلوية لمضيفها التي تقوم بمهمة المبادلات ؟

نستخدم الفيروسات الصغيرة التجهيز الانزيمي في الخلية المضيفة . ولكن النوكليوبروتين (البروتين النووي) الفيروسي يقدم طاقة حائلة ، أو استعداداً لتنسيق الانزيمات الخلوية باتجاه مناسب . ان الفيروسات ذات A D N تتكاثر بالتجمع مع الخلية في حين ان الفيروسات ذات A R N تستثير تزايداً في الايض داخل النواة الصغيرة وداخل السيتوبلازما ذات النواة الطرفية . ان التركيبات الجارية عند مستوى الفيروس قد درست بواسطة عناصر ملحوظة في الوسط المجاور ؛ ونجد هذه العناصر أساساً في الفيروس وليس في الاعضاء الخلوية .

والفيروس هو حاث خاص ذاتي يحاول في الخلية ان يتقدم على الحاثات الاخرى . واذا كان قد كعم بمضادات فيقي في حالة الفيروس الكامن . واذا كانت الظروف الخلوية ملائمة ، فانه يتنافس ايضاً مع الحاثات الطبيعية العادية ، ومع الاعضاء الخلوية ذات الانتاج الذاتي . وهو اي الفيروس منافس مميز إذ ينسق التفاعلات الخلوية لصالحه . ولكن الأوليات العامة هي نفسها : فالفيروس كعامل مورت يوضح لنا تفاعليات الحياة .

وبمقدار الاضطراب الى البحث داخل الخلية بالذات عن امرار الحياة ، فإن كل أمل بالشعور بشأنها ، على الحل ، يوماً ما ، يتلاشى امام تعقيدات عالم يفر امام التحليل الكامل .

اما بالنسبة الى الفيروسات فلم يكن الامر بهذا الشكل : فالفيروسات ، بعد ان تحفظ لنفسها أو تكتسب نوعاً من الاستقلال الذاتي ، بالإمكان فصلها عن الخلية ، وتحضيرها في حالة النفاة

واخضاعها لاستقصاءات تتبع يوماً ما فهم بعض مراحل تفاعلية الحياة ، والتمثل والتكاثر في المكونات الخلوية (ج . اوبرلينج Oberling) .

ان الحياة الاكثر أولية لا يمكن ان تدرس الا عند مستوى عضو ضمن الخلية . ويقدم الفيروس مادة امتيازية مختارة ، معطى حقيقياً تجريبياً للطبيعة .

لقد أشار ج . براشيه Brachet الى التشابه الوثيق بين فيروسات النباتات والميكروزم . ويمكن ايضاً التساؤل عن ماهية الفرق الموجود بين جينة وفيرس . وهناك افتراضات متنوعة قد صيغت في موضوع هذه المسألة المهمة بشكل خاص ؛ ومن احدث الفرضيات فرضية بوافين Boivin وفاتدريلي Vandrelly (1947) التي تعطي دوراً اساسياً للحوامض الريبونوكلية التي تحملها الميكروزومات والتي تعتبر كمراكز موجهة ثانوية في الخلية . ولكن في الحالة الراهنة من البحث ، تعتبر هذه المسألة بعيدة عن الحسم .

هل تمثل الفيروسات حالة سابقة على الخلية ، ذات تساعد نحو تنظيم خلوي مستقل ؛ أو هي بالعكس اشكال مختلفة من تنظيمات متكيفة مع حياة طفيلية ؟

هل يجب ان نرى ان الكائن الحي يمكن ان يرد الى خلية كبيرة واحدة ؟ يبدو انه من الصعب اعتبار الفيروسات ككائنات بدائية لانها لا تقدر على التكاثر الا في حالة الطفيلية داخل الخلايا .

ام ان الامر يتعلق بتقهقر ناتج عن الطفيلية وينتهي ، في المآل الاخير ، الى خلية كبيرة من النواة البروتينية (نوكليو بروتين) يفسر جمودها بخسارتها للنظام الانزيمي ؟ وهكذا هل نصل الى اطراف الحياة ؟ اننا ندرك اهمية هذه البحوث في البيولوجيا العامة وفي الطب .

كتب ب . لابين P. Lépin بهذا الموضوع يقول :

« ان الحدود بين الحياة والموت ... مثبتة ، لا عند حدود افراد ، غير الواضحة عندما نصل الى الاشكال الأولية ، ولا حتى عند حدود الخلية لأن الفيروسات ذات الحجم الكبير تظهر لنا كبنيات خلوية غير مكتملة ، رغم انها حية ، بل في الحفرة التي يجب منطقياً ان تفصل المادة العضوية الحية عن المادة العضوية غير الحية .

« اننا نصل هنا الى عقدة مسألة الفيروسات ، العقدة التي بها تظهر هذه العوامل الوراثية في بعض الاحيان قريبة جداً من الجينات ، هذه الدعائم المادية للوراثة والتي تتجمع في الكروموزومات والتي ترتبط ، مثل الفيروسات ، بشدة في سير عمل الخلية وتناسلها ، وفي حياتها ، دون ان تمتلك بذاتها وبشكل مستقل ، خصائص الحياة » .

بعض المسائل الكبرى في البيولوجيا الحيوانية

في الوظائف الكبرى التناسلية والغذائية والتنسيقية تظهر اختلافات بنوية وفيزيولوجية متعددة ، باختلاف الانواع الحيوانية والنباتية . ونحن سنعالج بصورة أساسية هذه التفاعلات في الاجسام الحيوانية الاعلى على الصعيد الحيواني ، حيث تظهر هذه التفاعلات في تعقيدها الاكبر والابرز⁽¹⁾ .

II - التناسل وعلم الأجنة

إذا وضعنا جانباً البكتيريا التي لا تعرف الجنس ، وبعض انماط التناسل اللاجنسي (المتناوب في اغلب الاحيان مع ظاهرات اخصاب في الاجيال المتعاقبة) ، يعتبر اتصال الخلايا الجنسية [غاميت: خلية اخصبية ذكورية أو انثوية لا تحتوي نواتها الا على عدد واحد n من الكروموزومات في حين تحتوي بقية الخلايا على عدد مزدوج $2n$] (التي احدها ابوي والاخر اموي) هو التفاعلية الاساسية التي تولد فرداً جديداً . ان القرن التاسع عشر قد حقق تقدماً اساسياً في ظاهرات التوالد . وفهمنا يعود بتاريخه الى المرحلة الحاسمة حيث قام مؤلفون مختلفون (توريه Thuret عند الفوقس ، 1868 ؛ هرتويغ بالنسبة الى التوتياء ، 1875 ؛ أ . فان بندن Benden بالنسبة الى الاسكاريس أو الصفر ، 1883) بملاحظة عملية الاخصاب بالذات . وبعد ذلك بقليل تم اكتشاف الاستعداد الزوجي الاساسي الذي هو تخفيض صبغي (كروماتي) (ج . اوهرتون ، 1893 ؛ وج . ب . فارمر 1894) ؛ ان كلمة مايزوز (الانقسام المنصف لدى الخلايا) ادرجت سنة 1905 على يد فارمر وج . أ . مور . وهذه النتائج (مجلد III) ادخلت التناسل في اطار العقيدة الخلوية .

(1) إن بيولوجيا النباتات ستدرس في الفصل VII من هذا القسم ، في حين أن بيولوجيا اللاقريات ستُحلّل في الفقرتين VI و VII من الفصل III من هذا القسم . فضلاً عن ذلك فإن الكثير من مظاهر الفيزيولوجيا البشرية ستعالج بمعرض المداخلات الطبية في القسم الخامس من الكتاب .

الخلايا الجنسية - بخلال السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر اعتبر آ . وايزمان Weismann الخلايا الجرثومية وكأنها تشكل سلالة مميزة مختلفة عن انسجة الفرد (مجلد III) .

وهكذا فصل ، بشكل قاطع النطفة أوالجرثومة عن السوما . وهذه النظرية تلقت في القرن العشرين اثباتات مشهودة .

وارتكزت هذه التأكيدات المشهودة على إكبار التبع - في النطفة المتطورة - بالنسبة الى ميدان الخلايا المستقبلية الجنسية . وعندما يُقضى على هذا الميدان تجريبياً ، في بداية تطور الكائن الجنيني ، فان الفرد يصبح فيما بعد محروماً من الخلايا الاخصائية : وقد ثبت ذلك في التسميع المسلط على الطيور .

والاهمية المعنوية في هذه الثنائية الاساسية في السوما [خلية لا تنقل الوراثة] وفي النطفات [وهي خلايا ناقلة للوراثة] ، لها انعكاسات مهمة في مجال الوراثة . وحدها التغيرات في الجينات الموجودة في النطفة هي التي تتأبد وتشكل الانتقال ؛ في حين ان تكييفات الفرد مع الظروف المحيطة الخاصة ، والتي هي تبدل فردي ، تزول معه .

وتبدو النطفة وكأنها خالدة ، اما السوما فهي زائلة . ولكن وقائع مخالفة رصدت عند بعض اللافرقيات قد اعادت طرح المسألة التي كانت تعتبر وكأنها مبتوتة .

ان تشكل الخلايا الجنسية ، والنقص التلويني ، وهما موضوعان من الدراسات الخلوية المميزة ، قد حللا عند العديد من الانواع . فقد استبدلت الرسيمة الاساسية - التي كانت تركز المنصر الاول النموذجي ، وفيها يبدو التقسيم الاول فقط غير طبيعي - بمفهوم الرباعية حوالي سنة 1910 : فتزويج الكروموزومات المتماثلة ، متبوعاً بتشققها ، يشكل طوراً من اطوار الانقسام في الخلية ، في التقسيم الاول لمثل هذه المجموعات التي تفرق وتتوزع بين اربع خلايا حفيدة .

ان تفارق الخلايا الجنسية قدم مادة مهمة من اجل تحولات الاعضاء الصغيرة في الخلايا وخاصة ظهور السوط اثناء ولادة المنى ، ومن اجل مراقبة نشأة المح في البريضة . ان الحوين المنوي كان من الخلايا الاولى التي تم فحصها بالميكرومكوب الالكتروني . وقد تبين عندئذ (ج . ت . راندال ، وم . ه . ج . فريدلاندر Friedlaender ، 1950 ، الخ) ان التشابه والتماثل الظاهر في ذنبه يخفي وجود الياف عددها 9 .

ان ظروف حياة الغاميت (الامشاج أو الخلايا الناضجة) قد توضح .

ان الحيوانات المنوية تتميز بأبيض زاخم ، مخصص لتغطية صرف الطاقة الناتج عن تحركها . وتركيب البلاسما المنوية قد تحدد . وتفحص تأثير الوسط على الحركة ، والقدرة الاخصائية في الخلايا الجنسية المقلوبة قد وجد تطبيقات له ، سواء فيما يخص تضعيف الحيوان المنوي كما وجد تطبيقاً له ايضاً في تقنية الجبل الاصطناعي . ان بعض العوامل الفيزيائية (أشعة X ، الاشعاعات الذرية) أو الكيميائية يمكن ان تحدث اعطاباً تشويهاً اثناء نمو الجنين فيما بعد .

الاخصاب او الالقاح - ان مراقبة الاخصاب قد تحققت عند الثدييات قبل 1900 . فالتقاء الغاميت او الخلايا الناضجة قد تم ضمن انبوب قناة فالوب . وقد بذل جهد للحصول على الظاهرة داخل المختبر ، وقد امكن تصويرها فوتوغرافياً من وقت قريب . ويشير بعض المؤلفين الى نجاحهم في اجراء الحمل او التخصيب خارج جسد الانسان .

ان الالويات التي تسود عملية اقتراب البويضة من الحيوان المنوي تعزى الى عمليات ميل كيميائية . في سنة 1912 لاحظ ليلي Lillie ، لدى نيريس ، الجذب الذي يحدثه على النطف ، ماء البحر الذي مكثت فيه بويضات من ذات النوع . واطلق اسم مخصب (fertilisine) على المادة التي تنبعث من الخلية الانثى والتي تتمتع بمثل هذه القدرات . فضلاً عن ذلك تتدخل عدة مبادئ في هذه الظواهر ، وهي لا تختلف ظاهراً عن المبادئ المكتشفة في علم المناعة . ان الاخصاب يقترن بتغيرات في الغزوذية الميضية ، كما يقترن بتنشيط في التنفس . ونجاحه مرهون بالحالة الفيزيائية - الكيميائية السائدة في الوسط المحيط الذي يجب ان تتوفر فيه الحدود المطلوبة .

ما قدمه التوالد العذري التجريبي - ان المشكلة الرئيسة هي معرفة الاسباب التي تتحكم في اطلاق عملية تطور الكائن الفرد . ويقول آخر ما هي القوة الكامنة في الحيوان المنوي حتى يجلب البويضة من سباتها ؟ منذ القرن التاسع عشر ، بذلت جهود من اجل استبدال الحيوان المنوي بعوامل فيزيائية او كيميائية .

وقد سجلت تجربة ج . لوب Loeb سنة 1899 الشهيرة اول نجاح في مجال الاخصاب التجريبي . وفي سنة 1906 اعلن لوب عن طريقة جديدة اكثر فعالية . واستنتج ان الاخصاب تعمل فيه الالويات كيميائية ، وانه يجدر فيه التمييز بين مرحلتين اساسيتين من مراحل التفاعليات هما : تنشيط البويضة بحيث تزداد قابليتها ويزداد اخذها للاوكسجين ، ثم عملية الضغط الحراري الذي يطلق عملية تطور الكائن المنوي . وقد توجهت البحوث اللاحقة التي قام بها ي . دولاج Delage وم . غولد سميت سنة 1913 نحو تغير ايقاعي في النظام الغروي داخل البويضة العذراء .

ان اعمال أ . باتايون قد امتدت طيلة خمس وثلاثين سنة وقد تناولت الضفدعيات ؛ وقدمت مساهمات مهمة في فهم الالوية التوالد العذري .

فالسلسلة الاولى من التجارب بين 1900 و 1910 درست تأثير الضغط الامتصاصي ، وتأثير الحرارة والبرد ، وتأثير الاشباع والاقحاح المتناير ، ولم تؤد الا الى تطور اجهاضي . واستلهمت السلسلة الثانية الاخصاب الحاصل بين انواع مختلفة ، وخلصها بدا ان الحيوان المنوي يلعب دوراً ميكانيكياً فقط . واستبدل باتايون الخلية الذكرية بكرة دقيقة من الزجاج أو من البلاتين ، فلاحظ ان البويضات قد نشطت . ولكن التعلق كان اجهاضياً . ونجح في حملها على النمو عندما لوثها بالدم او عندما طعمها بالكروماتين أو الصبغين . وبعد 1930 بين باتايون ان العوامل المنشطة هي ذاتها لدى اللاذئيات والتوتياء ، وان التوازي ايضاً يشمل الظواهر الخلوية التطورية .

وقد شارك العديد من البيولوجيين في تطوير البحوث (ج . لوب ، وه . فوس Voss ، وج . روستان Rostand الخ) . ان التوالد العذري قد حصل في طبقات حيوانية متنوعة . ففي

الثدييات امكن استحداثه بتأثيرات حرارية . وفي سنة 1939 حصل ج . بينكوس Pincus على نمو عذري في بويضة الارنب . ولكن هذه التجارب التي تفتح افاقاً واسعة جداً ، ليست الا في بدايتها .

وتحليل الاخصاب قد عولج بطرق اخرى . فالتلاقي بين الانواع المتميزة يفسح في المجال امام سلسلة من التفاعلات التي تنطلق من مجرد التنشيط الى ضبط الحرارة الى الاخصاب الاثنيي . ان استبعاد الكروماتين الابوي الغريب عن النوع استبعاداً كاملاً هو وحده الذي يتيح عملية نمو الفرد .

ان الخلط الغاميتية (الامشاجية) الباتولوجية اي المرضية تشكل طريقة اخرى في الاستقصاء . تشمع الحيوانات المنوية يقدم معطيات تشبه الوقائع السابقة . والنمو يحصل عندما يعطب « مرض الراديوم » النواة الذكورية الى درجة تعطيل الاخصاب وعندها يحدث توالد عذري حقيقي . وهناك اوجه اخرى من المسألة قد عولجت . فقد تقرر ان ادخال نقطة واحدة في عملية الاخصاب الطبيعي ، يتعلق بتحول البلازما الخلوية المحيطة من البيضة عند عملية التنشيط . ونضج الخلية الانثوية ضروري للاخصاب .

وهكذا نزع التجريب ، حيث فصل وفكك عمليات انتقال الحياة بواسطة الافراد ، كل سمة ميتافيزيقية لهذه الظاهرة . ومثل هذه المكتسبات ليس لها مجرد اهمية فلسفية . فهي تحسن قدرتنا حين تدعم ممارستنا وتؤسسها على قواعد عقلانية . وقد قامت محاولات تخصيب اصطناعي منذ زمن بعيد . ويمكن اليوم اجراء الزرع بمحض الارادة في الثدييات ، بواسطة ذكور مخصبة تقع على مسافات بعيدة . وهذا الاسلوب يتيح بفضل انتقاء الاهل أو الابوين استحداث إنسال على يد المنشئين .

علم الاجنة . ان هذا العلم قد ازدهر فعلاً بعد ان قرر ك . ف . وولف في القرن الثامن عشر بان تطور الكائن الفرد يقوم على خلق لبنيات انطلاقاً من بيضة مخصبة لم تكن هذه البنيات مكونة فيها من قبل . وقد اقام القرن التاسع عشر بصورة تدريجية علم الاجنة التجريبي (مجلد III) .

ان عقيدة الوريقات التي وضعها ك . أ . فون باير Baer ، وهي مكتسب رئيسي ، تُستخدم كاساس لعلم الانسجة . وقد تناولت الدراسات شرائح تسلسلية فحصت في الميكروسكوب البصري . وابرز علم الاجنة المقارن السمات العامة وقدم براهين على الاطروحة التحولية . ولكن علم الاجنة التشكلي حقق أيضاً بعض التقدم وقدم بشكل خاص عناصر جديدة تتعلق بالنوع البشري .

في بداية القرن العشرين كانت النطفة البشرية الأصغر سنأ التي عرفت ، وقد وصفها بيترس Peters ، يبلغ عمرها اربعة عشر يوماً . وسوف تقوم بوصف مراحل اقل تقدماً : مرحلة ت . برايس Bryce وج . هـ . تيتشر Teacher (1908) : 14 يوماً ؛ ومرحلة ميللر Miller (1926) وعمرها 11 يوماً وقد درسها ستريتر Streeter . ان التقدم في علم الغدد التاملية الانثوية حدد نقط ارتكاز تسلسلية

تاريخية منها : لحظة البيض وسط المسافة بين حيضين ثم المهمل القصيرة التكوينية التي خلالها يجب ان يتم الانخصاب . في سنة 1942 اشار آ . ت . هرتيغ وج . روك الى خلية جذعية أو بويضة عمرها سبعة أيام ونصف ، في مرحلة الزرع ، والثلثة التي حفرّت في غشاء الرحم نتيجة الولوج البويضي لم تكن بعد قد تسكّرت . و اشار هذان العالمان بعدها الى مراحل التشقق ، واعداد تكوين فيلم العمليات بخلاف الاسبوع الاول ، الذي يتطابق مع مرحلة الهجرة الانبوية ، ثم مرحلة التحرر ضمن الغشاء الرحمي .

والاكتشاف الكبير الآخر في مجال علم التشكل الجنيني هو تحليل مرحلة النمو لدى الفقريات بواسطة طريقة العلامات التلوينية الحيوية .

ان بعض بويضات الاسيديات تدل على التربة الملونة تلوناً طبيعياً ، مما يتيح تتبع مصيرها بسهولة . وفي سنة 1925 استلهم فوغت Vogt من هذا الاستعداد ونجح في وشم بويضات برمائية انما دون ان يغير في مصيرها : وفيما بعد استعملت الطريقة في الاسماك وفي الزواحف وفي الطيور . وكشفت النتائج حركية الظواهر النطفية . ورقبت الهجرات الخلوية المؤدية الى تركيز الـ «ويويات» في اماكنها ، هجرات تعتبر «كتلات مناور» حقيقية .

وامكن التوصل أيضاً ، فوق سطح البلاستولا والمضغة ، وقبل بدء عمليات التنقل ، إلى رسم خريطة الامكة المتوقعة التي يُعرف مصيرها الطبيعي مسبقاً . ويفضل هذه التقنية زال التميز بين (عملية) النمو الجنيني ، بواسطة الانغماد ، وعملية النمو وفقاً للخطة البدائي : فرق بسيط في التوبوغرافيا اي في رسم الخارطيات ، وفي تحديد التواريخ لتموكز الوريقات .

ومنذ نهاية القرن التاسع عشر احتل الاهتمام التجريبي محل العمل الوصفي الذي كان قد بلغ متناه . ومن اجل فهم تآلي النمو ، ومن اجل معرفة العواصل المسؤولة عن ولادة الشكل ، بذلت جهود من اجل تخريب أو ارباك الاسباب ثم تحليل الاتار الناتجة عن ذلك . ويعتبر و . رو Roux مؤسس علم الأجنة التجريبي أو علم الأجنة السببي (مجلد III) . وجرت تخريبات بواسطة الوحز أو بواسطة فصل الخلايا الام (بلاستومير) من قبل روس سنة 1885 ومن قبل ل . شابرير سنة 1886 ومن قبل هـ . دريش Driesch بين 1891 و 1906 ومن قبل آ . هرليتزكا Herlitzka سنة 1896 . | وعندها صفت البويضات بحسب ما اذا كانت موحدة الخواص (ايزوتروپ) أو غير موحدة الخواص (انيزوتروپ) (ان المظاهر الرئيسية لعلم الأجنة لدى اللاققرات يتناولها آ . تيتري ، الفقرة VI ، الفصل III من هذا القسم) .

ان البويضات ذات الهيولة الايزوتروبية يمكن فيها تصحيح كل تشويه من قبل القسم الباقي . والقدرات الشاملة للتربات فيها أعلى من صيرورتها الطبيعية . اما البويضات غير موحدة الخواص فمادتها تتألف من فسفساء من الطاقات وكل تشويه فيها لا يمكن اصلاحه . ان الطاقات الشاملة في النطفة متشابهة ومماثلة للطاقات الحقيقية .

والبيوض غير موحدة الخواص هي التي جرّت أ . ب . ولسون سنة 1904 الى فكرة الموضوعة النطفية ، وهي فكرة اثبتتها تجربة جرت على رخوية هي المستنة (دانتال) . وعند البرمائيات ،

اوضحت بحوث أطلقها مورغان سنة 1897 ، وروس سنة 1903 وج . و . جنكسون سنة 1907 ، المناطق التي إذا أصابها التشويه فلا تصحيح لها والمناطق التي يمكن تصحيح الخراب فيها (أ . براشييه 1923-1905, Brachet) .

ان القدرة على تنظيم الحرارة بعد عدوان هي ميزة البيضات الايزوتروبية اي الموحدة الخواص . وهذه القدرة في مختلف الانواع ، بدت وكأنها صفة عامة في النطف ، وتضيق بصورة باكرة بحسب انماط البيضات .

لدى التوتياء تعطى البويضة الام (بلاستومير) ، المفصولة بخلل المراحل الاولى كائناً كاملاً (هـ . دريش ، 1891) . وقد امكن ، ضمن نفس المجموعة ، صنع نطف أو أجنة متنوعة التركيب ، وذلك بلحم اجزاء معزولة . وكان الشرط المطلوب الوحيد للنجاح هو احترام النسب بين الترية الحيوانية والتربة الانباتية . وافضل من ذلك ايضاً ، ان التحام بيضتين يؤدي الى ادخال عناصر كل منها في الفرد العملاق الذي لا شيء يذكر بشائية اصله .

ولدى الطيور استطاع آ . وولف وهـ . لوتز Lutz في الفترة 1945-1948 ان يشقا النطفة الى نصفين ، وان يحصلوا على مسخين مزدوجين أو توائم ، بحسب ما اذا كان التقطيع جزئياً أو شاملاً . وقد امكن ايضاً الحصول على اربعة اجنة انطلاقاً من بيضة واحدة . وبالنسبة الى الثدييات ان فصل البويضتين (بلاستومير) الاوليين عند الفار ادى الى تطورين فرديين كاملين ؛ وهذا يوضح عملية التوأمة الحققة . فضلاً عن ذلك ان تعدد الاجنة العفوي ، أو تشكل عدة اجنة من بيضة واحدة معروف تماماً بخاصة عند الحيوانات الدرعاء (تانو) (نيومان وياترسون ، 1910) .

والاكتشاف الذي كان له اثر ضخم جداً هو اكتشاف واقعة التبدل المستمر بدءاً من التخلق الجنيني ، بتأثير من « المنظمين » . والتجربة الاساسية حول هذا الموضوع حققها هـ . سيمان سنة 1921 . فقد اقتلع المشفر من ثقب آخر الامعاء في النطفة لدى برمائي ما ، عند بداية تكون الجنين ، وزرع هذا المشفر على مستوى الجانب المعدوي من حيوان مجانس في نفس المرحلة . ورأى عند هذا الاخير ظهور سلسلتين من التشكلات الظاهرية المميزة : انبوب عصبي ، جيل شوكي ، اعضاء لا تنقل الوراثة . والسلسلة الواقعة في موقعها الطبيعي تتوافق مع النمو الطبيعي . اما السلسلة الاخرى الاضافية أو الزائدة ، فقد تولدت عند مستوى الزرع أو ألتطعيم ، والبناءات الجديدة تتخلق انطلاقاً من الجزء المدخل بصورة اصطناعية . والتربة التي تتمتع بمثل هذه القدرة على التخليق العضوي تسمى « منظم » . وتدخله ، الذي سلم به آ . غورفيتش Gurwitsch سنة 1922 وبـ . ويس Weiss سنة 1923 ، قد ثبت في كل سلسلة الفقرات .

وهذا المنظم يتركز عند المشفر الظهري في طرف الثقب الأصلي ، عندما تتم بداية التكوين الجنيني ، بواسطة الانغماد . وهو يمثل بالخط الاول في عند الطيور . ولا تظهر اية خصوصية حيوانية في عمليات زرع تتم بين البرمائيات والطيور . وقد اعداج . هولت فريتر تلميذ سيمان الظاهرة في المختبر : ان النسيج الظهري يحدد ظهور انبوب عصبي على حساب طبقة مضغية عادية .

ولقد جرت محاولة لربط هذه الطاقة بمواد كيميائية متنوعة ومنها ما يستحق الذكر : مواد سكرية ذات بروتين نووي تجمع الى مجموعات سولفيدريلية .

ان « المنظم » المشيجي ، أو « المنظم » الاولى ، ليس هو الوحيد الذي يحفز عملية التخلق المتميز فقد امكن العثور على مناطق في النطفة تتحكم ، اثناء المراحل اللاحقة بالاختلافات المحدودة اكثر . وقد سبق لسيمان ان اشار سنة 1901 الى القمع البصري المنبثق عن مجمل الدماغ والمخصص لحدوث الشبكية ، وهو يعطي او يولد البؤبؤ . والامر هنا يتعلق بمنظم ثانوي . ان عملية التخلق الفردي تبدو هنا محكومة بسلاسل من التبدلات .

وقد جهد علماء اجنة آخرون في دمج هذه الوقائع ضمن مفهوم اعم هو مفهوم تناقص التركيز الذي قال به ك . م . شايلد Child سنة 1915 . هذه الفرضية تخصص ترتيباً تسلسلياً لمناطق النطفة (كما تفعل بالنسبة الى الراشد) وكل تربة أو منطقة تتحكم بما يليها وترتبط بما يسبقها . وفكرة الحقل (ج . س . موكسلي ، 1932) تبدو اعم ، لأن الأثر لا يقتصر هنا على اتجاه محوري متناقص بل يشع في كل الاتجاهات انطلاقاً من مركز معين . ان « المنظم » يجب ان يشبه بحقل تناقصي . وفيما بعد كشف في البيضة على حقل قشري وعلى حقل انبائي .

وهناك مفهوم اعم ايضاً هو مفهوم الطاقة التي تولد الاشكال والتي تستبدل التغير النوعي بميزات كمية خالصة . وتسند الوقائع الدقيقة هذا المفهوم .

وهكذا نعرف ان المضغة الوسيطة تحتوي ، من قسمها الظهري الى المنطقة البطنية ، ثلاث مناطق : السوميت ، والقطع الوسيطة التي تعطي فيما بعد الكليتين ، ثم الشفرة الجانبية . واذا زرعت جنباً الى جنب السوميت والشفرة الجانبية نرى تكون قطعة وسيطة بينهما . ومن جهة اخرى قد يرفع تدخل المواد الكيميائية أو قد يخفض زخم التربة : في الحالة الاولى يقال : هناك « حيوانية » ؛ وفي الحالة الثانية هناك « نباتية » . وكذلك تحدث الاشعاعات اضطرابات في النمو ، وذلك بتخفيض مستوى التراتيات . من المحتمل ان الكيمياء سوف توضح يوماً ما معنى هذه المفاهيم .

وبالانتقال الى مراتب اكثر تأخراً ، نلامس مسألة التفريق بين الانسجة والاعضاء تفريقاً يتحقق على الصعيد البنيوي والوظيفي .

هناك فروقات خلوية هي نتيجة الاستعداد الكامل في العناصر التي تنفرع منها : من ذلك حالة العضلة القلبية ، التي تنمو في المختبر وتأخذ في الخفقان ، عندما يزرع النسيج الملحمي المنبثق عن هذه العضلة . وبالمقابل ان مصير الانسجة اللاحمة يخضع تماماً للشروط المحيطة التي تنمطها بصورة ميكانيكية . وامكانية التأثير في جنس المجاري التناسلية ، حتى في الغدة التناسلية ، هو مثل فخم للدلالة على التفريق المحدث .

ان الحياة والمبدعة للاشكال ، ليست الاهتمام الوحيد في علم الاجنة التجريبي . وهناك طريق فتح حديثاً هو طريق استكشاف فيزيولوجيا الجنين اي المسار العضوي ، وتناسقاته الانتظامية .

ان دورة الدم ، قد أمكن تتبعها بالتصوير الاشعاعي بواسطة مواد كثيفة . ويوجد العديد من المسائل قيد الدرس تتعلق بموضوع التغذية ، والافرازات ، والنشاط العصبي . وقد علم ان قطع الرأس لا يوقف حركة النمو ، بشرط اجراء الترابطات الوعائية الضرورية . وانه في مجال الافرازات الداخلية ، بشكل خاص ، كان التقدم والانجاز مهماً ومفيداً . ان بعض المعطيات تتعلق ببداية نشاط الغدة النخامية الوراثية ، وبالعدة الدرقية ، والقدد الدرقية الجانبية ، والتشكلات التناسلية الصمائية الداخلية . هل الهرمونات المفروزة هي ذاتها هرمونات البالغ ؟ المسألة تطرح بالنسبة الى العناصر المسؤولة عن التفريق الجنسي ، كما تطرح بشأن افرازات لب الكظر ، فوق الكلية .

ويهتم علم الاجنة الكيميائي بتوضيح توزيع مختلف المواد داخل البويضة بخلاف مراحل النمو ، وطبيعة وزخم العمليات الايضية (ك . لندستروم - لانغ Linderstrom-Lang ، ود . غليك Glick) ، وظهور الانزيمات التي تبدو ضرورية في عملية الامتصاص أو تولد الاعضاء .

ان هذه الدراسة التي يوشربها حوالي سنة 1930 ، من قبل مدرسة ج . نيدهام ، وك . ه . وادينغتون ، ود . م . نيدهام في كمبريدج ، وكذلك من قبل ف . ج . فيشروا . فهماير Wehmeier ، وج . هولتفريتروو . م . نوينسكي Nowinski الخ . ، قد نمت في العديد من البلدان . ويبدو ثابتاً ان الاختلاف الخلقي الكامن في المناطق المختلفة داخل البويضة بشكل فسيء ، يتأتى عن الاختلاف في تكوينها الكيميائي . في الوقت الحاضر يتركز الانتباه على الانسجة الخلوية البلاسية ، التي يسهل التقاطها بسبب تلون ركيزتها : ويمكن الظن اذاً ان هناك بدايات مفترضة الوجود كيميائياً ، في بادئ الامر ؛ وهذا التفريق الكيميائي ينحكم بالخصوصية الشكلانية والوظيفية اللاحقة في العناصر النسيجية المشتقة .

التوليد الامساخي التجريبي - هناك وجهة نظر أخرى تقوم على محاولة استحداث تشوهات مسوخية « عشوائية » . ومن بين التجارب الكثيرة التي حققت في هذا المجال نذكر التجارب التي قام بها أ . وولف ، سنة 1936 .

استوحيت هذه التجارب من فرضية ي . جوفروا سان - هيلير Geoffroy Saint-Hilaire التي تقول ان الاضطراب الاساسي يعزى الى توقف النمو الموضعي ، وقد استخدمت ريشة رفيعة من اشعة X ، من اجل تحديد موضع الاصابة ضمن منطقة محددة داخل نطفة . وفي اجنة الفراخ من سن معين امكن استحداث كل التشوهات المسوخية الطبيعية . وقد اتاحت هذه التجارب توضيح قوانين التخلق الفردي الطبيعية بصورة جزئية .

وهناك اسلوب آخر في التوليد المسوخي قائم على المواد الكيميائية مثل الكوليشين والريسين والتريپلافلين ، الخ . وهكذا امكن استحداث العديد من التشوهات . ان تدخل عنصر محدد في لحظة محددة يؤدي الى تشويه محدد .

والقضية في كل هذه الاكتشافات تقوم على انتاج مسوخ بسيطة . والواقع ان المسوخ المزروجة هي توائم غير منفصلة بصورة كاملة . وهناك مظهر مختلف لتخليق التشوهات ، ويتعلق

في الثدييات بالاضطرابات التي تصيب الأم أثناء الحمل .

ان هذه « الامراض الجينية » ذات المنشأ الأمومي تقدم فائدة كبيرة للجنس البشري ، لانها صورة طبق الاصل ، في اغلب الاحيان عن التثوهات الوراثية ؛ ولكنها لا تنتقل الى الذرية لأنها لا تصيب المجموعة الأثرية . ان بعض الامراض المعدية الأمومية ، وبعض التجاوزات الفيتامينية ، وبعض القصور الغذائي من خلال الحمل يمكن ان تعيق التخلق الجنيني في النطف الموجودة في الرحم .

II - الفروقات الجسدية

على صعيد الفرد تبدو الحياة ذات تنوع شديد ، سواء نظرنا بصورة اجمالية الى اجسام الميتازور (اي متعددة الخلايا) ، والميتافيت (اي متعددة الناميات المرضية) أو عندما نحلل العناصر الخلوية التي تشكلها .

وفي مجال البيولوجيا الحيوانية أو علم الاحياء الحيواني كان القرن التاسع عشر عصر التشريح المقارن . وفيه أيضاً تأسست الاناتوميا العامة ، أو التشريح ، القائمة على فكرة الانسجة ؛ ان هذه الانسجة تتكون من خلايا ذات بنية واحدة . وانطلاقاً من هذه الاسس الركيزة ، فقد اتسعت اهتماماتنا بشكل فريد . ان الفروقات قد حلت أيضاً من الزوايا فوق البنيوية ومن الزوايا الاحيائية والفيزيولوجية أو الوظيفية

وفي حين حاول علم فيزيولوجيا الانسجة تحديد التخصص الفيزيولوجي المرتبط بالخصوصية الشكلانية ، درست الشكلانية او علم الشكل التجريبي سبب الفروقات البنيوية . ان لدونة وليونة الاجسام النباتية قد اتاحت التعرف بسهولة على اثر العوامل الخارجية في عملية التشكل أو المورفولوجيا . ان الاثار حول البنيات تبدو تابعة بالنسبة الى تغيرات في عملية الايض . والتحولات المحدثة لا تتصل بالوراثة . وهي لا تصيب الا الفرد . وفي مجال علم الانسجة الحيوانية يبدو دور الهرمونات في توليد الاشكال واضحاً وبارزاً .

وبفضل هذه الانجازات في البيولوجيا الخلوية الخاصة ، يمكن النظر الى كل تفريق ، من الزاوية الرباعية المتعلقة بالشكل ، وبالوظيفة ، وبالتكوين ، وبالتضيق أو التجهيز . ونقدم على ذلك بعض الامثلة المأخوذة في اغلب الاحيان من الفقرات وخاصة من الثدييات .

النسيج الملحمي - ان المواد بين الخلايا في النسيج الملحمي ، تؤخذ كما هو معلوم ، من مادة هيولية (أو مادة اساسية) ومن خيوط أو الياف (مولدة للهام ، مطاطية شبكية) . وعرف في القرن العشرين ان الهيولية تألف من مادة مخاطية متعددة انواع السكريات . وهناك انزيم يكشف هذه الخلايا الكبرى ويجبر وراءه ميوعة متزايدة تتيح الانتشار المكرويبي (عامل الانتشار الذي قال به دوران - رينالس Duran-Reynals سنة 1928) .

ان الخيوط المكونة للهام الميكروسكوبية تألف من الياف متناهية طولية تظهر ذات تحزيزات عرضية مع وجود فراغات بينها تقارب 640 Å بين الضمائم (شعيت ومعاونوه ،

1942-1948). وظهر الاليف المولدة للهلام ظهرت في المختبر الالكتروني ، وكأنها تتم عند حد الخلية النسيجية في البلاسمات الصغيرة الفتية ، بشكل الياف متناهية الصغر ، ذات تعزيز اكثر ترابصاً (پورتر ، 1952). وهذه الملاحظة المحققة اقلقت النقاش الذي كان قائماً ، منذ ظهور القرابة الخلوية ، بين انصار افراز الميتابلازما وبين انصار النظرية القائلة بالنشوء خارج البلازما ، وبين الذين يقولون باستقلالية الخلايا عن المادة الموجودة بينها .

واخيراً تم الثبوت من التأثيرات التي من شأنها ان تُمارس على الانسجة الملحمية . فالإفراز الاوكسيجينى القشري (ديزوكسي - كورتيكو - ستيرون) يؤدي الى ورم ليفي . في حين ان للكورتيزون اثرأ مفيداً ولذلك يستعمل في معالجة الروماتيزم المفصلي .

الانسجة العظمية - ان النسيج العظمي هو تمايز خاص من النسيج الملحمي . والمادة الركيزية فيه وهي المخاطية السكرية قد تلقت رسوبات من الاملاح الفوسفورية الكلسية . ان هذا الملح العظمي هو مكون هيدروجيني اوكسيجينى وله بنية بلورية قد توضحت تماماً .

والاعمال المتتالية منذ اربعين سنة ونيف (ليريش Leriche وپوليکارڊ Policard ، 1926 ؛ وج . روش J. Roche وداليمايه Dallemagne ، ولاكروا Lacroix ، بعد 1940) قد عرفت بالتفاعليات البيوكيميائية في عملية التعظم . والمهاد البروتيني الاساسي الذي يتطلب وجود الفيتامين C ووجود الغليكوجين ، يجذب الاملاح الفوسفورية الكلسية . وتقتضي التغذية المعدنية تقليماً غذائياً متوازناً يتدخل فيه الفيتامين دال ، كما يقتضي الوجود المحلي لمادة الفوسفاتاز . ان حياة النسيج العظمي تقوم على تغيرات كيميائية وبنوية لا تتوقف . وتؤمن الضوابط الغددية الصماوية الدقيقة تماثل اعادة البناء . فإذا نقص عامل ما فتت العظم . وهكذا تتحكم الغدة الدرقية الهاشمية في معدل التكلس والفسفرة . ونشاط هذه الغدة المفرط يؤدي الى ارتفاع بلاسماوي في الكالسيوم على حساب العظام التي تصبح هشّة . ويحدد الاستروجين أو هرمون الاخصاب عند المرأة افراطاً في التكلس (بينوا Benoit وكلافير 1941-1946) .

الخلايا الملحمية - في سنة 1906 حلل رينو ودويريل عملية تشكل العناصر المتدخلة في حالة الاثارة النسيجية . وتم توضيح العلاقة بين الخلايا الملحمية والدموية ، وقام علماء فيزيولوجيا الانسجة بتأسيس فكرة النظام الشبكي دخل هذا المفهوم كحالة خاصة في عملية البلعمة أو الابتلاع (فاغوسيتوز) التي تم اكتشافها من قبل ميتشنيكوف سنة 1882 . ومن سنة 1904 حتى سنة 1914 قام العديد من المؤلفين بوصف عملية الابتلاع القسوى التي تجري على جزئيات غريبة لا متناهية الصغراي لا يدركها المجهر . وبدأت الظاهرة خصوصية ذاتية : فالخلايا نفسها هي التي تمثل الظاهرة دائماً ؛ وخاصة الخلايا الملحمية الفتية وخلايا نسيج الاعضاء مثل الكبد ولب العظم (الاعضاء الدموية) . ان هذا النظام الشبكي البيطاني كما يسميه كاشوف Kaschoff (1914) له حدود متحركة : وتكرار الزرقات الغريبة . في جسم ما يؤدي الى وشم الخلايا التي لم تعرض حتى ذلك الحين عمليات ابتلاعية متفرقة . وامكن التوصل الى وصف نظام محصور تظهر فيه السمة منذ الجرعات الاولى ، نظام واسع ونظام اقصى ، ثم اخيراً اعماله . ان الانسجة الخلوية

الاحتياطية ، وهي عناصر متنوعة في النظام الذي يسمى اليوم النظام الشبكي النسيجي ، هي من القشائ الملحمية والدموية القليلة الاختلاف ، المزودة بخصائص دفاعية وتنشيطية للدم . وكشفت البحوث الحديثة بان العناصر العضلية المخططة المزروعة هي مع وجود الكولين [مادة ازوتية] تكتسب استعدادات مميزة للنظام .

الكريات الحمر (هيماسي) - لقد تم توضيح التركيب الخلوي للدم بخلال القرن التاسع عشر . ان مختلف انواع الكريات البيضاء قد وصف ، كما تم اكتشاف الصفائح . وقد توصل العلماء إلى تعداد الكريات الحمر والكريات البيض الموجودة في ملم مكعب من الدم ، كما توصلوا إلى تحديد النسبة المئوية في العديد من الكريصات (ك فيرودت Vierordt 1852 ؛ ل . ك . مالاسيز Malassez 1872 ؛ ابهرليخ ، 1879 ، 1890) . ان ولادة السلالة الحمراء انطلاقاً من خلية لب العظم لم تعد موضع نقاش . ولكن ولادة الكريات البيضاء ما تزال غامضة .

في القرن العشرين حللت هذه العناصر المتنوعة من الناحية البنيوية والوظيفية . وتنظيم الخلية الحمراء قد درس حديثاً بواسطة المجهر الالكتروني ، في حين ان سماكة الغشاء البلاسمي قد قيست بواسطة وسائل فيزيائية كيميائية . وتم توضيح الحالة البلورية في الهيموغلوبين وفي البروتين الخلوي الحديدي . في سنة 1929 اوضح هـ . فيشر التركيب وحقق توليف واحد من مكوناتها الاساسية وهو الهيمين اي المادة المتبلرة في الدم . ان البنية ذات الابعاد الثلاثة التي للهيموغلوبين قد اكتشفت حديثاً من قبل ج . ك . كندرو Kendrew ، وم . ف . بيروتز Perutz ، بفضل تحسين تقنية انحراف اشعة اكس . وتم ايضاً توضيح التوليد الاحيائي [من خلية إلى خلية] ، ومصير الخلية وتحولها إلى صبغات صفراوية . وتم اكتشاف انواع مختلفة من الهيموغلوبين ؛ وهي خصوصية ذاتية في بعض الانماط الحيوانية .

فئات الدم وعامل ريزوس - هناك مكتسبات مهمة ترتبط بمجال مناعة الدم التي من دلالتها الاساسية مفهوم فئة الدم . لقد اوضح ج . بورديه التفرقة أو التلاحم بين الكريات الحمراء بالنسبة إلى جنس ما بفضل المصل الموجود في جنس آخر (وهو التلازم المتباين ، 1895) . في سنة 1900 اكتشف ك . لندشتينر Landsteiner التثخن الذاتي ، وهو ظاهرة مماثلة تحدث في اطار نفس الجنس .

وقد لاحظ ك . لندشتينر أن الامصال ، عند البعض من معاونيه ، تُثخن الكريات الحمراء عند رجال آخرين ، فاوضح المخثرين الرئيسيين A و B اللذين يؤدي التقاؤهما مع المضادات الراصة المطابقة α و β إلى اشارة التخثر أو التلاحم . هذه اللعبة بين المتضادات تفسر الحوادث التي تجري عند عمليات نقل الدم والملحوظة منذ عدة قرون . اضاف جانسكي Jansky سنة 1907 وموس سنة 1910 إلى القشائ الثلاث للدم وهي A, B, O ، الفئة AB . وهكذا تمت معرفة أربع فئات دموية عند الإنسان ، سميت بحسب طبيعة المولدات التخثرية فيها التي يتعارض وجودها مع طبيعة المضادات المطابقة لها في المصل .

في سنة 1914 اثبت هيرزيلد Hürzfeld وجود فروقات متنوعة في توزيع فئات الدم ، بين

المجموعات البشرية ، وهكذا فتح الطريق امام تطبيقها في مجال علم الاناسة . في سنة 1926 ايت ف . برنشتين Bernstein الاولية الصحيحة في عملية النقل المندلي (نسبة الى مندل) للمجموعات A, B, O ، المعروفة منذ سنة 1909 بفضل أ . فون دونجرن Von Dugern ول . هرزفيلد . ان الانماط العرقية هي ستة : A A, A B, B O, B O, O O . ولكن الانماط الفردية تقتصر على اربعة ، بسبب قانون السيطرة . والمجموعة O O لا تحتوي على مولد التخثير ، ولذا فهي تصلح لكل الفئات « انها معط شامل » ، اما المجموعات الثانوية MN و P فقد توضحت بفضل لندشتينر وليفين Levine سنة 1927 . ومنذ سنة 1940 اكتشف كِل Kell ودوفاي Duffy ولسوثيران Lutheran ، ولويس Lewis العديد من الفئات الاخرى .

وهناك اكتشاف اخر مهم جرى في الفترة 1930-1940 ، وهو تثبت لندشتينر وويئر Wiener من تلاصق الكريات الحمراء البشرية لدى 85 بالمئة في افراد العرق الابيض بفعل مصال الأرنب الذي اكتسب المناعة ضد الكريات الحمر المسماة « مأكاكوس ريزوس » . ومن هنا التسمية : « العامل Rh » . وفي السنة التالية بين ليفين ان تدخل اي تضاد ضد هذا العامل ، يُنهي عن مرض تفتيت الكريات الحمر عند الوليد الجديد .

وقد ابتكر ج . بورديه Bordet (1898-1901) أو الية تفكك الكريات الحمراء ، وذلك بالتفاعل بينها وبين بعض المضادات الخاصة الموجودة في بعض الامصال في الانواع الاخرى . ولا بد من وجود وسيط دائم ، انه المكمل . والبحث عن المضادات التي تظهر على اثر الاصابة الميكروبية ، هو مبدأ تفاعل السلفس الذي قال به بورديه واسرمان Wasserman سنة 1906 .

الكريات البيضاء (الليكوسيت) - اذا لم تكن الكرة الحمراء إلا جزءاً تسيجياً بلاسيمياً ، تعرّض لتفقر جعله لا يستهلك الاوكسيجين الذي يحمله ، فان الكرة البيضاء تترتدي كل الخصائص الشكلانية والوظيفية الحياتية .

وقد تم عزل انزيمات الكريات البيضاء في بداية القرن العشرين (فيسنجر Fiessinger ، منذ سنة 1902) : منشطات الأكسدة : الأوكسيداز ، البيروكسيداز ، البروتاز ، الليباز ، [أي منشطات البيروتين والليبيد] . ان التقدم الحاصل في كيمياء الانسجة قد اتاح تحليلاً لمكونات ولفاعلات السمات في هذه الخلايا .

وترصد اليوم حياة الكريات البيض بسهولة بفضل التصوير السينمائي التصغيري المتعدد الألوان . ان الاحاطة بالطرائد ، ومصيرها قد كُبرت كثيراً بفضل الميكروسكوب الالكتروني . واخذ يظهر بوضوح ان عدد الكريات البيضاء يخضع لتضيقات ما تزال مجهولة . ان زرقة من الكورتيزون او من الهرمون الذي تفرزه الغدة النخامية الامامية القشرية يجر وراءه نقصاً مهماً في عدد الخلايا ذات النوى الكثيرة الملونة بالاحمر (رانز ثورن (1948, Thorn) . ان الغدة القشرية الكظرية (فوق الكلية) هي ذات تأثير معقد على صيغة وعلى عدد الكريات البيضاء (دورتي Dougherty ووايت White 1943) .

ان الصفائح الدموية قد صورت على افلام وفحصت تفصيلاً . ووضحت كيمياء الانسجة

غياب اية مادة نووية في داخل هذه الكريات . وتدخلها في تخثر الدم اصبح معروفاً أكثر فاكثراً . لدى الثدييات تبدو حياة هذه الخلايا قصيرة نوعاً ما . اما الكريات الحمر ، المحرومة من النواة فهي تتجدد باستمرار . وضرورة هذا التجدد المستمر للخلايا الحمر ذات اهمية لفهم فقر الدم وعلاجه .

ان بعض الحوامض الامينية والفيتامينات والحديد هي ضرورية . ويتولد في المعدة عنصر جديد بفضل الفيتامين ب 12 (B 12) فيمكن من امتصاصه ، ويشكل معه عنصراً جديداً هو عنصر كاستلي (1929) . وهناك عنصر هرموني هيبوفيزي اونخامي يتحكم في نشاط الخلايا الحمر .

ان الكريات البيضاء تمرّ بدون توقف في الانسجة الملحمية حيث تمارس نشاطها . وسرعتها في التجدد تبرز من خلال واقعة رُصدت سنة 1935 ، في النخاع الشوكي البشري ، حيث يبدو الصفب الابيض ، اكثر غزارة من الصفب الاحمر باربعة أضعاف ، في حين ان الدم يحتوي على كريات حمراء اكثر من الكريات البيضاء بسبع مئة ضعف . في سنة 1906 رصد رايت تضاعف النوى واعتبره كاساس او مصدر للكريات او الصفائح ؛ وهذه الواقعة ثبتت حديثاً سنة 1956 بفضل المراقبة الحية بواسطة تكثيف الضوء . وقد ادت طريقة زرع لب العظم في المختبر ، وهي طريقة حديثة ، الى معطيات اكثر يقيناً فيما يتعلق بالتسلسل الخلوي . ويُذلل جهذ من اجل العثور على روابط القرابة في الصفوف الخمسة في تكوين الدم ، والتي يتولد ثلاثة منها ، ويشكل حصري في النسيج الملحمي في لب العظم .

البلاسما الدموية - ان البلاسما هي المادة المهمة الحشوية السائلة في النسيج الدموي . ونشاهد ، بخلاف التوالد العضلي الحيواني تشكل وسد داخلي ، ضيق في تكوينه الكيميائي وفي نوابته الفيزيائية الكيميائية .

ان دم الثدييات يتميز بكامن هيدروجيني pH يتراوح بين 7,7 و 7,8 . وعملية الضبط مزدوجة : فهي مباشرة بفضل الاجهزة المضادة ؛ وهي مؤخرة بفعل اخراج غاز كربونيك من خلال الرئتين ، واخراج الحوامض والقاعدات من خلال الكليتين .

ان التركيب المعدني يقترن بعبادلات ايونية (كهربية) بين الكريات والبلاسما . وثبوتية المكونات الكيميائية ، اي ثبات كميتها بشكل واضح في الدم هو من صنع ضوابط عذرية صمائية تتدخل فيها عوامل يضاد بعضها البعض .

وقد تمت تجزئة البروتينات الموجودة في البلاسما بفعل الترسيب وبفعل التحليل والنقل الكهربائيين .

ان الجزء الزلالي يشتمل على اكثر من نصف المجموع . وهو ذومنشأ كبدي ، وهو مسؤول عن الضغط الترمي في البلاسما .

اما الكسر الغلوبييني (الكرييني ، ثلاثين الى اربعة بالمئة من البروتينات) فيتكون من جزيئات أكبر تنقسم إلى ثلاثة اجزاء :

أ - الغلوبيلين أو الكريين α ويتألف من بروتينات دهنية ومن بروتينات سكرية متأتية من النسيج الملحمي .

ب - الغلوبيلين β الذي تركبه الكبد ويقترون بأكبر جزء من البروتينات الليبيدة في البلاسما وهذا الكري يحمل مولدات الاستروجين وهي خلايا الحمل ، الاصباغ الجزرية [الكاروتين : مادة ملونة صفراء أو حمراء نجدها في النباتات (الجزر) ولدى الانسان في الجسم الاصفر داخل البيض] .

ج - والغلوبيلين γ ولبعضها وزن جزيئي يعادل المليون ، وهي ذات اهمية كبيرة بفعل مناعتها ودورها . وتركيبها يتم فعلاً داخل النظام الشبكي - النسيجي الخلوي ، انطلاقاً من الحوامض الامينية .

ان لبعض انواع الغلوبيلين اهمية كبرى فيزيولوجية : الفيبرونوجين [مولد الالياف] وبروتينات التخثر الدموي (بروتومين ، والعوامل المساعدة على النزف ، والمعلجلات) ، والبروتينات المسؤولة عن صفات الامصال (المصلقات المتساوية ، وبروتينات الإتمام) ، والانزيمات البروتينية ، والهرمونات البروتينية ، وبصورة اساسية العنصر الدرقي ؛ ومولد الضغط الشرياني ؛ واخيراً الهرويردين الذي يشكل عامل مناعة طبيعية .

تخثر الدم - ان التخثر هو موت النسيج الدموي . وقد امكن درس تفاعليته بواسطة المجهر الالكتروني بعد سبق درسه بالميكروسكوب العادي . وبدأت معرفة الاواليات الكيميائية المعقدة مع و . هنسون (Henson 1771) . وسميت اللحمية الخيطية الليف ، وتم التعرف على سابقتها ، وهو مولد الالياف وعلى خميرة هذا التحول ، او الثرومين [مخثر الدم] بفصل هامارستين ، سنة 1876 . ودمجت هذه المعطيات الاساس ضمن نظرية تخميرية صاغها مورا ويتز سنة 1904 . ان الليف يتأني من تحول مولد الليف بواسطة الثرومين . ويتولد هذا الاخير بواسطة تأثير الثرومبولاستين [البلاستين هو جزء من نواة نسيج الخلية] على اصل المخثر الموجود في البلاسما (پرو - ثرومين) مع وجود املاح الكالسيوم .

ومنذ حوالي خمس وعشرين سنة ، تم اكتشاف العديد من العوامل الجديدة المتدخلة في التخثر . ويندمج اثرها بتأثير مَوْلَد الالياف أو العامل الاول ⁽¹⁾ ، في الـ « پرو - ثرومين » (و . هـ . هويل ، 1910) او العامل الثاني ، في « الثرومبولاستين » النسيجي أو العامل الثالث (هويل ، 1912) والكالسيوم او العامل الرابع (ارتوس ، وياجيس ، 1890) . ومنذ 1942 ، درست ظاهرة تفسخ الالياف ، المعروفة منذ 1889 ، بعناية من قبل آستروپ ، وتانيون ، ومولرتز ، وفون كولا ، وماك فارلان .

(1) في سنة 1954 ، كلفت لجنة دولية بتنظيم جدول بعوامل التخثر . وقد تم التوافق على النظام العددي المذكور هنا . اما عوامل هاجيان و P. T. A ، ومعدّل الليف (الليفين) فلم تصنف بعد .

ومن بين العناصر المكتشفة حديثاً يجب ان نذكر :

أ - الغلوبولين المضاد للزف A ، العامل الثامن (باتيك وستيتسون ، 1937) ، الذي اوضح دورهُ كويك (1947) .

ب - شبه المُسرّع ، وهو العامل الخامس (اورن Owren ، 1947) ، وهو سابق غير ناشط على المُسرّع أو العامل السادس .

ج - شبه القلّاب أو العامل السابع (كولر وأورن ، 1947) .

د - عناصر جديدة مضادة للزف أو « البروثرومبولاستيك » (المبدأ A هو الغلوبولين المضاد للزف الذي عثر عليه كويك) : المبدأ B (كريستامس فاكور المنسوب الى بريفس ، او البلاسما المخثرة (ثرومبولاستين) المركبة Component او العامل التاسع : اغجيلر Aggeler ، 1952) ؛ المبدأ P. T. A) او بلاسما مخثرة سابقة ، روزنتال ، 1953) ؛ المبدأ D (عامل هاجيمان ، 1954) ؛ المبدأ E (فان كريفيلد وپولسين Paulssen ، 1951) المحرّر بفضل الصفائح . ونقص هذه المبادئ يطيل كثيراً وقت التخثر .

في سنة 1953 وصف بيغس ودوغلاس تجربة توليد (تخليق) المخثر « پروثرومبولاستين » ، الذي اتاح اخيراً دراسة المرحلة الاولى من مراحل التخثر . في سنة 1954 ، بين راتنوف دور العامل « الاتصال = النماس » . وفي سنة 1957 عاد مارغوليس Margolis الى هذه الاعمال ، ففتحت سبيلاً جديداً للبحث . في سنة 1956 بين غراهام وهوجي ان شبه القلّاب هو اتحاد عاملين ، عامل ستوارت (X) (العاشر) والعامل السابع . ان نقص بعض العوامل يجر اضطرابات في التخثر ، اصبحت اليوم معروفة تماماً .

هذه الظاهرة المعقدة في مجال التخثر تُقسّم الى ثلاث مراحل متتالية : تكون المخثر في النواة ، تشكّل المخثر ، تشكّل الليف .

وتتيح المعينات الفيزيولوجية تفسير عدم تخثر الدم الجاري .

ان مضاد التخثر في النواة antithrombo-Plastique الذي اكتشفه توكانتينس Tocantins ، هو مضاد التخثر البلاسموي الذي لا يتدخل الا بعد تشكّل الليف (و . هـ . هويل ، 1918) والكبدتين المستخرج اولاً من الكبد (هويل ، 1919) ، ومنها اسمه ، انما الموجود في الواقع في كل الانسجة . بالنسبة الى هويل ان الكبدتين هو الذي يؤمن عدم تخثر الدم الجوال .

III - الايض والتغذية

إنّ الاسهامات الغذائية تكفي حاجات الجسم بالمواد العضوية وبالطاقة . وفي مجال التغذية ، تابع القرن العشرون الانجاز السابق ، مع فتح مجالات جديدة خصبة . وقد اقترنت البحوث حول الايض الخلوي المحلل سابقاً (الفقرة I ، الفصل السابق) بدراسات حول ايض مجمل الجسد .

انواع الايض - كان الايض المركزي - عند الحيوانات الثابتة الحرارة - والذي يمثل الحد الأدنى من اتفاق الجسم في حالة الراحة ، موضوع قياسات دقيقة (م . روبنر 1902, Rubner ؛ ف . ج . بنديكت ، 1907 و 1933 ؛ أ . ف . دوبرا 1924 ، الخ .) اكملت دراسات القرن التاسع عشر (مجلد III) . وهذا الايض يتعلق بعوامل عدة ، خاصة بعمل الغدة الدرقية .

ان العديد من البحوث الفيزيولوجية والبيوكيميائية ، قد خصصت لمختلف العمليات الايضية : الايض المائي ، الايض المعدني ، الايض الغلوسيدي ، والايض الليبيدي ، والايض البروتيني (الفصل السابق) . ان الاحتياجات والتفقات قد تحددت ، في حين تمّ بصور تدريجية توضيح المراحل البسيطة ، التي يلعب فيها الكبد دوراً رئيساً .

التغذية - ان حاجات المخصص الغذائي الحيواني ثلاثية : من حيث الكمية العامة ، من حيث التوازن الصحيح بين المواد المتكاملة ، ومن حيث النوعية . ان هذه المقننات الاخيرة قد اتاحت القيام باستقصاءات ثمينة . وهكذا يتلقى الجسم بواسطة التغذية بعض الحوامض الامينية التي لا يستطيع هو تركيبها بنفسه : ان البحوث حول التريتوفان [حامض اميني متبلر] ، حول هذا الموضوع ، بدت كلاسيكية بحق (الفقرة السابقة) .

والاكتشاف الأكثر أهمية في هذا المجال هو اكتشاف الفيتامينات .

لقد تمّ هذا الاكتشاف ، المنبثق عن اكتشاف النقص الذاتي الخاص ، بفضل الطريق الطبي ، سندا لاستقصاءات تجريبية ، وبفضل اعمال الكيميائيين . ودراسة هذه الاعمال بحث في غير هذا المكان ⁽¹⁾ ، لذا فاننا نكتفي بالتذكير بالاهمية الاستثنائية لهذه المستحضرات فيما يتعلق بالجهاز الحيواني . ورغم ان التعبير عنها بقي واقعياً عملياً ، وان المعرفة بها ما تزال غير مكتملة ، فان هذه المواد - التي امكن تحضير الكثير منها بواسطة التركيب - تحتل مكاناً أساسياً في جدول المكونات البيوكيميائية .

فيزيولوجيا الهضم - ان اواليات الهضم والتمثل قد توضحت بصورة تدريجية . وبصورة خاصة بفضل الاعمال حول فيزيولوجيا الانسجة وحول البيوكيمياء .

على مستوى القناة الهضمية ، تم التوصل الى توضيح الاعمال المتتالية حول تفكك پروتيد النزليات المستوعبة بسلاسل انزيمية معدوية معوية . ان تركيب وتأثير اهم العناصر الهضمية المعروفة سابقاً قد نوضحا . وقد تمّ التثبت من أنزيمات عديدة مثل : اللاكتاز والليباز ، والپروتيداز والموات والانفحة (بايليس Bayliss وستارلنغ 1902, Starling ؛ ادكنس 1906, Edkins ؛ آغر ، 1934 ، الخ) في حين تمّ اكتشاف مفعول الهرمونات المختلفة العاملة في مختلف مراحل العملية الهضمية . ان الدراسة التجريبية لهذه الاواليات ، التي بوشربها بشكل رائع من قبل ي . ب . پافلوف ، الذي اكمل تقنية القصد المعدوي والبنكرياسي [البنكرياس = الحلوة] التجريبي (1890

(1) راجع دراسة آ . اهد (الفقرة VII ، الفصل XI ، القسم الثاني) ودراسة ر . دوبري وج . ديبوكوا (الفقرة X ، الفصل II ، القسم الخامس) اللتين تقدمان استكمالاً لكل المواضيع المثارة .

و 1907) ، قد اكتملها آ . ج . كارلسون (1912) ، وآ . ك . ايثي وج . ي فارل (Farrel 1925) ،
وس . ج . وه . ج . وولف (Wolf 1943) ، الخ . ان العوامل الميكانيكية ، في الهضم ، قد
اوضحها و . ب . كانون (1911) ور . غلبناد (الدراسة السينمائية التسجيلية لحركات الامعاء ،
1913) ، وا . ك . الفارز (1922) ، الخ .

ان البنية في مختلف مستوياتها ، واليوكيمياء ، وعمل الكبد كانت موضوع العديد من
البحوث . وافراز المرة (الصفراء) وهي أصل الملونات انطلاقاً من الهموغلوبين ، قد توضح
(ويندوس Windaus ، وييلاند ، وديلس Diels وه . فيشر Fischer ، ور . روبنسون
Robinson ، الخ) .

الافراز البولي - ان بنية الانبوب البولي كانت قد عرفت في القسم الاخير من القرن التاسع
عشر . ان قوانين الافرازات الكلوية (ثابتة آمبارد ، 1910) كانت قد اعلنت . ان دور مختلف
مقاطع الانبوب البولي قد بحث على اسس تجريبية مقارنة (جيرار وكروديه 1930-1934
Cordier) ؛ فيل ، (1939) ، مما ادى الى الامتناع عن تصادم النظريتين : تصفية - افراز وتصفية -
امتصاص ، الصادرتين بخلال القرن التاسع عشر . ان كتلة العروق تحدث بولة مؤقتة (تنقيط
متناهي الصغر قال به ورن Wearn وشاردس ، 1924) هي تنامي الترشيح . وهذا الترشيح يفتي
بافراز الانبوب الاول المتخرج ، ولكنه يفتقر بالامتصاصات التي تحدث . ان خلايا الانبوب البولي
تعمل وفقاً لتفاعلية فوسفورية [تشكل الفوسفور في الجسم] . وقد امكن حساب معاملات التنقية
البلاسمية لمختلف المواد (تنقية فان سليك 1921 ، Van Slyke) .

ان كمية الماء الراشحة ، يومياً ، بفعل كتلة العروق البشرية قد تم قياسها : تقريباً 180
ليترًا . ان القسم الاكبر منها يُمتص وبالضرورة ؛ والباقي فيه مجموعة الغدة النخامية في الرأس
(Hypo-thalamo-Post-hypophysaire) التي يؤدي عجزها إلى تكاثر البول في مرض الزرب النخ .

ان انتقال الايونات الموسومة بشكل اصطناعي قد درس (مورل 1953 ، Morel) ، وتعطي
اهمية متزايدة ، لعامل الانخفاض الفيزيولوجي الامتصاصي القشري في الحلمات (هيرز 1952 ،
Hirz) ، ولمفهوم التركيز بفعل التيار المعاكس .

الفيزيولوجيا التنفسية - فضلاً عن البحوث حول التنفس الخلوي (الفقرة I ، الفصل
السابق) تناولت بحوث عديدة المظهر البيوكيميائي للتنفس على صعيد الجسم (ر . بترس ،
1912 ؛ ج . و . كريستيانسن ، 1914 ؛ و . ماير هوف ، 1918 ؛ ه . هارتريدج وف . روفتون
1923 ؛ ور . جيزل ، 1925 ؛ الخ) . وقد تابع آخرون دراسة فيزيولوجيا التنفس (ج . س هالدان
وج . ج . جيليس ، 1905 ؛ وك . هيمانس ، 1929 ؛ الخ) . ان الميكانيك التنفسي قد درس
ايضاً ؛ نذكر بشكل خاص مقياس التنفس الذي وضعه تيسوه Tissot وجهازك . ج . دوغلاس
لتحديد ضخامة المبادلات التنفسية . ان تقدم الطيران ، والغطس تحت البحار هي في اساس
البحوث المختصة ذات الفائدة النظرية والعملية .

فيزيولوجيا دوران الدم - سبق ان اشرنا الى النجاحات الملحوظة التي حققتها البيوكيمياء في

دراسة تركيب وخصائص الدم (الفقرة السابقة) . ان القلب والنظام الدوري كانا فضلاً عن ذلك موضوع دراسات نسيجية ، وتشريحية ، وفيزيولوجية (وظيفية) متقدمة جداً . ان استخدام السينما (ل . براون ، 1897) ، واستعمال مقياس غالفاني (غالفاونومتر) ذي الوتر واستعمال مقياس القلب الكهربائي الذي وضعه و . اينتهوفن (Einthoven 1901-1904) قد ادت كلها الى تقدم سريع في معرفة الوتيرة والأليات القلبية .

وتحليل الاوتوماتية القلبية قد استفاد من اكتشاف عقدة كيث وفلاك (1906-1907) وعقدة تاورا (1906) استكمالاً للاوصاف النسيجية للنسيج العقلي عند پوركيني Purkyne ولضمة هيس His . ومنذ القرن التاسع عشر ، جرى التعرف على الاعصاب المعدلة والمسرعة للقلب ، وعلى التحرك الوعائي ، وعلى بعض الظواهر التي تتدخل في الضغط الشرياني ، وعلى المنطقة المولدة للاتعكاس القلي الاورطي (الأبهري) ، وعلى العوامل التي تحرك مراكز التنفس البصلي . ان هذه المعلومات قد بحثت بتوسع في القرن العشرين . ان وجود - عند مستوى المفترق الوداجي السباتي - منطقة ذات حساسية قوية جداً ، وحساسة تجاه تغيرات الضغط والتركيب الكيميائي في الدم ، قد اضيف الى الوقائع السابقة (ك . هيمانس ، 1929) . وقد بذلت جهود من اجل استخراج المواد الكيميائية المتدخلة في تنظيم العمل الذاتي القلي .

وكشفت البحوث كثرة التفرع الشرياني الوريدي تحت مظهر « الغلومي العصبي - الوعائي » ؛ وعمل هذا التفرع والتواصل اندمج في عمل التحرك الدوراني في الشعيرات الدموية الذي كان موضوع استقصاءات دقيقة ، خاصة بفضل تقنية الرصد المباشر في غرفة كلارك . وبين أ. كروف (1904 ، 1922) ان التحرك الوعائي في الشعيرات يتعلق بنشاط الاعضاء المروية . ان العوامل الفيزيائية الكيميائية المؤثرة في الغشاء الشعيري قد اكتشفت وتحددت (الهستامين : دال وريشاردس ، 1918-1919 ؛ فيتامين P_C ؛ كورتيزون) . اما المبادلات التي تحدث عند مستوى الشعيرات ، فقد اتاح استعمال النظائر المشعة تحليلها بصورة افضل .

البنية العضلية وفيزيولوجيتها - لقد درس التفارق العضلي في القرن التاسع عشر ، من الناحية التشكلية . ان تحزر العضل الارادي قد وُصفَ طويلاً . وقد ظهر ايضاً ان الغلوكوز هو المحروق الطاقوي الرئيسي .

ان القرن العشرين ، وبفضل الوسائل الجديدة التضخيمية والرصدية لتيار العمل ، قد توصل الى تكوين صورة واضحة عنها . ان الاثارة هي الاخراج ، وهذا الاخراج الذي تدخل فيه ايونات البوتاسيوم ، ادى الى تغيرات في الشفافية الترشيحية . وقد درس الايض التحليلي السكري بعمق ، وقد اكتشف فيه تدخل توليد الفوسفور والحامض المكون للخلايا المثلية الفسفرة ، وفيها تمّ التثبت من ظاهرات التحليل الفوسفوري . ان الحامض اللبني يتكون في آخر التفاعلات اللاهوائية ؛ قسم يحترق فيتحول الى ماء وغاز كاربونيك ، وقسم يستخدم لاعادة تكوين احتياطي من الغليكوجين والحامض اللبني ؛ وفي هذا مظهر من المظاهر الامامية والركيزية في الايضات الوسيطة ، التي تمسك بها القرن العشرين . وقد شارك العديد من الفيزيولوجيين والبيوكيميائيين من

ذوي الموهبة العظيمة ، في توضيح هذه المسائل الصعبة امثال : و . م فلتشروف . ج . هوبكنس (1907) ، وآ . ف . هيل (1911-1938) ، وو . ف مايرهوف (1918-1920) ، وب . كاتز Katz ، و . انجلهاردت Engelhardt ، الخ . واتجهت البحوث الآن نحو التنظيم الخلوي للليف العضلي .

ان الميوزين المقلص هو مزيج من الميوزين [myo = عضل] و الاكتين . وقد أمكن في المختبر فصل هاتين المادتين ، وجمعهما ، والحصول على تقليصهما . يوجد الاكتين بشكلين ، الاول مستطيل والثاني حبيبي ، ينمان عن الخصائص الميكانيكية لهذا الجسم (ج . ت . ادسال ، Edsall ، 1930 ؛ ه . وير ، 1934 ؛ ت . بورونوسكي ، 1939 ؛ آ . زنت - جيورجي ، 1948 ، الخ) . ان الفحص الحديث للاليف العضلية بالمجهر الالكتروني قد اتاح وصفاً شديداً الايحاء لترتيب المكونات الكيميائية بالنسبة الى التحفيز . ان الميوجلين - كبروتين ظل ملتصقاً لمدة طويلة مع الهيموجلين - يتصرف كاحتياطي من الاوكسجين بالنسبة الى العضل ذي العمل البطيء . وقد عزله ثوريل Theorell سنة 1932 . وبينته ذات الابعاد الثلاثة قد توضحت حديثاً بفضل ج . ك . كيندرزوم . ف . پروتز Perutz .

IV - التناسق العضوي

من اجل الحفاظ على الحياة في الجسم ، لا بد من تفاعلات بين مختلف الاعضاء ومختلف الوظائف ، وهي تفاعلات تمثل في الواقع اكرامات حقة . فالميتازيز (متعددات الخلايا) ، خاصة الاشكال المتطورة جداً تنسم بمتطلبات هي تمن تنظيمها الرفيع . لقد اوضح القرن العشرون الضوابط التي تحفظ هذا الانضباط الذاتي « الضروري » (و . ب كانون ، 1926) . في الفقريات ، تبدو هذه الضوابط ، في معظمها ، ذات طبيعة عصبية أو هرمونية : ثبوتية المعدل الهيدروجيني (pH) عند الثدييات ؛ ثبوت درجة الحرارة عند ذنابات الحرارة كالطيور والثدييات .

ولكن امكن حديثاً ، واثناء عملية التجليد الاصطناعي ، ملاحظة مقاومة الانسجة لانخفاض درجة الحرارة الذي ظن انه ضار حتماً . واخيراً ان المسيتات - وهي حالات وسط بين الحيوانات ذات الحرارة الثابتة ، والحيوانات ذات الدم البارد والمتغير الحرارة - تشكل مادة ثمينة لتحليل تفاعليات التخدر العضلي والبقطة الربعية .

نذكر ايضاً الاواليات التي تؤمن المحافظة على الاوتوماتية (الحركة الذاتية) القلبية ، وانتظام العملية التنفسية .

1 - التناسق العصبي الانبائي

ان النظام الوُدِّي معروف منذ عدة قرون . وقد كشفت وقائع دقيقة ، في القرن الثامن عشر دوره كمحرك وعائي ؛ وقد اجري كلود برنار فيما بعد تجارب كلاسيكية حول ظروف النشاط اللعابي وحول نشاط مجموعة العضلات الحدية (irienne) . في القرن العشرين عُرِفَ الحي (أو الوُدِّي) بأنه « العصب الموجود في كل موضع » : مما يعني ان سيطرته تشمل كل خلايا الجسم .

وميز فيه ج. ن. لانغلي (1921) قسمين متضادين : الودي المستقيم ، وشبه الودي . الاول ، مثلاً ، يسرّع القلب ؛ في حين ان الثاني يبطئه . والى المهاد تحت البصري عزيت اهمية من الدرجة الاولى . وبدأت الحقبة التجريبية ، عند مستوى هذه المنطقة ، مع ج. پ. كاربلوس وآ. كريدل (1912-1909) .

ولوحظ ان حفز الجوانب من البطن الثالث يحدث تغييرات في النبض القلبي ، وفي الضغط الدموي ، وفي التعرق . وتلقه يؤدي إلى الزرب النفه (هـ . و . كوشنغ ، 1912 ؛ آ . ي . فرانك ، 1912 ؛ و . ج . هـ . بينغارت و . ج . ل . الكسندر ، 1939) . ثم تم التثبت من نصيب الدماغ المتوسط في تنظيم الحرارة ، وفي ايض الماء ، والنوم ، والصرع التجريبي ، والشخصية ، والانفعال ، واللذة والالم (و . ر . هـ . الخ) . وامتدت المساحة الانبائية على طول شبكة الجذع الدماغى .

وعند مستوى تحت المهاد تتم الاتصالات العصبية الغدنية الصمائية المركزية . فهي تحقق مزدوجاً وظيفياً مهادياً - وراء النخامية ، فتنظم ايض الماء . وهناك اتصال آخر قُرس كثيراً هو اتصال الدماغ المتوسط بالنخامية الامامية بواسطة طريق وعائي في الاساس . وقد وصفت ، في « تحت المهاد » مراكز حافزة للغدة الدرقية ، وجنسية ، وقشرية - كلىوية فوقية . ان هورمونات الغدد الصماء على انواعها تؤثر في هذه المنطقة لتنظم عملها . وتعمل الانكساعات هذا الاتصال العصبي - الصمائي الغدي .

ان الخلايا العصبية ، لدى اللافقرات ، وهذا الافراز العصبي هو عمل غدي صمائي حقيقي يظهر هكذا في بعض الخلايا العصبية .

وأثبت بارغانك (1949 - 1950) ، وهو يستعمل طريقة التلوين الخصوصي بفضل الملون الدموي (همتوكسيلين) ، ملون غوموري ، انسياب هذا الافراز نحو التجويف الخلفي في الغدة النخامية ، وهو بؤرة تجمع العناصر ذات المنشأ النخامي . ان الافراز العصبي نحو التجويف الامامي قد درس قليلاً . وقد ثبت فيزيولوجياً وجود تحويل او نقل عصبي - هرموني من « تحت المهاد » باتجاه النخامية (التهيؤ لعملية الإباضة = نشاط المبيض) .

ومنذ أواخر القرن التاسع عشر اظهرت تقارير تشريحية - امراضية ان تنظيم النوم يجب ان يتموضع في الطبقات العميقة من الجذع الدماغى ، وخاصة في « تحت المهاد » .

وقد اكدت معطيات تجريبية جديدة هذا المفهوم (و . ر . هـ . ، 1925 ؛ رانسون ، 1925) . ان تحكيم النوم واليقظة تخضع الى توريدات ذاتية خصوصية (برير ، 1935 ، Bremer) . ان شبكة الجذع الدماغى (ماغون ، وموروزي Moruzzi ، 1949) تتدخل . ولكن المفهوم « تحت القشري » للنوم حصري وضيق جداً ؛ إن للقشرة الدماغية دوراً في اليقظة .

اليوم تتوضح الترابطات الضيقة بين النظام الانبائي ونظام حياة التواصل ؛ من جهة ان المادة الشبكية - العروقية قد تحفز بوسائل عصبية حسية (تخسر عندئذ ذاتيتها) ، وبذات الوقت ،

تُخَفَّرُ ، فضلاً عن ذلك ، بتغيرات في التركيب الدموي (ادرينالين ، ضغط الغاز كبريتيك CO_2 ، وهي عناصر صيدلانية منشطة) ؛ ومن جهة أخرى ان هذه المادة تتحكم في نشاط القشرة (كورتكس) وتنعكس على الانعكاسات في حياة التواصل .

2 - التناسق الغدي الصمائي

ان الاكتشافات في هذا المجال ، كان لها اهمية نظرية كبيرة ، كما لها ، بذات الوقت ، وقعٌ حسنٌ في مجال المعالجة البشرية . ان القرن العشرين عرف انجازات مشهودة ، بفضل التحضير الكيميائي للهرمونات التي اتاحت تجريباً أدق بكثير . وقد اقام علم الغدد الصماء الجنسي وُيِّن وحدة الاواليات الهرمونية عند الفقريات . وحديثاً ، تم توضيح وجود علاقات متبادلة صمائية لدى اللافقريات .

بدايات علم الغدد الصماء - تأسس علم الغدد في القسم الثاني من القرن التاسع عشر . في سنة 1855 قرر كلود برناردور بعض الغدد في الحفاظ على التركيب الكيميائي للوسط الداخلي . واكتشف الوظيفة الغلوكوجينية للكبد ، وهو اول مثل على الافراز الداخلي (مجلد III) . وتوقع بروان - سيكوارد ، بعد ان جرّب على نفسه المستخرجات الزرقية من البيضتين (1889 - 1891) ، خصب الحصاد المستقبلي ، ووضح مفهوم المتلقي .

في حين ترسخت ذاتية هذا المجال العلمي ، قدم الباحثون نتائج عدة . في حين لاحظ العياديهون نتائج النقص (القصور) الغدي أو فرط النشاط الغدي (مجلد III) ، جهّز الفيزيولوجيون ، عند الحيوان ، في امثحدث الاضطرابات عن طريق استئصال الغدة ، ثم التعويض عنها بالتغليم أو التلقيح ، (مجلد III) .

ان القرن العشرين سوف يني ، أولاً ، جسم نظرية متينة⁽¹⁾ . في سنة 1904 درس و . م . بايليس وأ . ه . ستارلنغ اثر المهيجات مثل السكريتين ، وهو رسول كيميائي ، تفرزه الاغشية المخاطية في الاثنى عشري ، والذي يطلق - بفضل افرازات لامتناهية الصغر - الافراز الداخلي من الحلو (بانكرياس) ؛ ان كلمة « هورمون » التي ابتكرها و . ب . هاردي ، اعتمدها ستارلنغ . وبعد عدة سنوات ، وتجاه الانتشار الجامع لعلم الغدد ، أوضح أ . غلّي الشروط الدقيقة التي يجب ان تتوفر في الغدة لكي تدخل ضمن هذا المجال البيولوجي .

ان الغدد الصماء ، عدا الكبد ، التي تشكل مستودعاً ايضياً بحق ، هي : الحلو

(1) ان تحليلنا يتناول اساساً الخصائص البيوكيميائية والفيزيولوجية للهرمونات لدى الفقريات ، ولكن هناك مظاهر أخرى لعلم الغدد ، قد عرضت في مكان آخر . عرض ر . دويري وج . ديبوكوا المراحل الرئيسية لاكتشاف الهرمونات لدى الفقريات العليا (الفقرة IV ، الفصل II ، القسم الخامس) ، ووصفا النبضة الملحوظة في الاستطباب الهرموني (الفقرة V ، الفصل III ، القسم الخامس) . وحلل A . تري النتائج الحاصلة في دراسة علم الغدد لدى اللافقريات (الفقرة VI ، الفصل III من هذا القسم) . ان نهضة دراسة الهرمونات النباتية قد وصفت من قبل ج . ف . لوروا (الفقرة I ، الفصل VII من هذا القسم) .

(بنكرياس) والدرقية واشباهها ، وفوق الكليتين ، مع منطقتها القشرية ومنطقتها اللبية ، والنخامية الالامامية والخلفية ، وبعض العناصر الخصوصية ، والمبيضية والمشمعية .

الببوكيمياء الهورمونية - ان فرز الهورمونات والحصول عليها بحالة النقاوة ، على حساب المستحضرات البيولوجية ، قد أتاحا تعريف مكوناتها . وبعدها جهد الكيميائيون ليحققوا تركيبها ، ويعيدوا تكوين مراحل صنعها داخل الجسم .

ان البحوث حول الببتيدات المتنوعة امثال (الانسولين ، الباتورمون ، والمبيادىء النخامية الوراثية) قد اصطدمت بمصاعب تتعلق بقابلية التغير في هذه المركبات ، كما اصطدمت بمعارف ظلت لمدة طويلة بدائية ، حول التركيب الصحيح لهذه المجموعة الكيميائية . ان المواد السابقة على النخاميات هي بروتينات مؤلفة فقط من حوامض امينية ومنها : (سوماتو- تروفين ، برولاكتين ، كورتيكوستيميلين) أو هي غلوكوكورتين (تيريوستروفين ، هورمون - فوليكولو- محفّز ، هورمون لوتينيزي) . إن التيروكسين هو مشتق من التيروزين ، والأدرينالين مشتق من التيرامين . وأخيراً ان للهورمونات الجنسية ، والهormونات القشرية فوق الكليتين نواة سيكلو- بانتانو- فيناترين مشابهة لنواة الكولسترول .

ان الكيمياء التجسيمية تلعب دوراً مهماً في النشاط الفيزيولوجي . وقد نجح الكيميائيون في ابداع اجسام جديدة ، وان لم تمتلك بنية الهورمونات الطبيعية ، فانها تتمتع بنفس الخصائص الفيزيولوجية . ووجودها يطرح مشكلة فيما يتعلق بالرابط بين القيمة الوظيفية ، والتركيب الكيميائي المحدد بدقة ، والهormونات ينقلها الدم فيجمد نشاطها الكبد غالباً ، وقد تفرزها الكليتان .

التوالد الهورموني - ان تشكل الهورمونات قد حُلِّلَ - بشكل خاص - عند مستوى الدرقية ، وعند مستوى القشرة فوق الكلية ، بفضل استعمال النظائر المشعة . ان المشكلة النسيجية ، المتعلقة بتحديد الحثوة المؤلدة ، قد بدت معقدة جداً أحياناً .

ففي القنبخامية ، تخصص العناصر تخصيصاً ابداعياً ، استعمل هرلنت Herlant طريقة « البذ الاقصى » التفاضلية ، فعزل كل نمط من التحجب ، واستخرج منها المبدأ الناشط . وقد أُجريت نفس الأرصاد بالنسبة إلى جزيرات لانجرهانس في الحلوة (بانكرياس) وفي القشرة فوق الكلية .

وفي بعض الاحيان يمكن التعرف على حالة السكون والنشاط في الخلايا الغددية ، سنداً لتشكلها (بالنسبة الى الدرقية مثلاً) . فضلاً عن ذلك ان بعض العوامل تغير البنية الغددية .

وبالنسبة الى الدرقية ، فان استئصال النخامية ، وزرق الهورمونات الدرقية ، ونقص اليود تؤدي جميعها الى صور استراحة ، وبعد اعطاء « الدرق - حافز » (تيريوستيميلين) او مضاد الدرقى اللذين يخلطان مجهوداً « بلا نتيجة » ، ينعكس المظهر . وبالنسبة الى قشرة فوق الكليتين ، يعمل استئصال النخامية على تراجع النسيج الحشوي في المناطق الوسطى والداخلية ، في حين ان زرق الهورمون الذي تفرزه القشرة يؤدي الى نتيجة معاكسة . ان الخَوَر ، والتسمم

بأنواعه ، والارثية ، والتلقيح الطفيف يحدث تضخماً ارتجاعياً ارتدادياً يمكن ان يؤدي في بعض الاحيان الى تهالك الجسم .

ان بعض المواد تشل صنع احد الهرمونات (مضادات الدرقية : الثيوري ، امينوازول ، ثيوراسيل) ؛ وبعض المواد الاخرى تعيب الحشوة المولدة مثل الالوكسان الذي يدمر الخلايا المولدة للانسولين في الحلوة (البنكرياس) .

المفاعيل الهرمونية - ان اثرها على المتلقيات يحدد ، بصورة أفضل ، الهرمونات بدلاً من مصدرها لان بعضها قد يستحدث عند مستوى الخلايا الفارزة المختلفة .

1- الهرمونات المولدة للتضام تسبب بتكاثر خلوي مما يؤدي الى نمو عام في الجسم (تيروكسين . الخ) او الى انتشارات موضعية تتناول مطلقاً متلقي (اثر الفوليوكولين على البطانة المهبيلة ، وعلى الحشوة الضرعية) .

2- الهرمونات المولدة للشكل تتحكم بالمظهر العام لدى الفرد ، او بالبنية لدى متلقي خاص . من ذلك ان المبادئ التناسلية تؤدي الى ثنائية الشكل الجسماني بحسب الجنس ، وتؤثر في مجموع الاعصاب التناسلية والضرعية .

3- الهرمونات المولدة للوظائف تتحكم بعمل المتشط . ومن بينها : السيكرتين ، ويتحكم بافرازات الغنات الحلوة (البنكرياسية) ؛ البرولاكتين ويحمل الغدة الضرعية على الافراز ؛ الفوليوكولين وينشط تقبض عضلة الرحم . والضغط الشرياني ، عدا عن خضوعه للعصب ، فهو خاضع لتأثير الهرمونات اللبية والقشرية فوق الكلوية .

4- الهرمونات الايضية تتحكم بالتوازن الكيميائي في الوسط الداخلي . ان الايض المركزي منتظم بفعل الدرقية ؛ والايض المائي تنظمه النخامية الامامية ، والدرقية والاورستروجين وبصورة غير مباشرة القشرية فوق الكلوية ؛ وينظم ايض ايونات الصوديوم والپوتاسيوم بواسطة القشرية فوق الكلوية ؛ وايض الكالسيوم بواسطة شبه الدرقية وبالفوليكرين ؛ وايض الغلوسيد بواسطة الانسولين المنقص لفلوكوز الدم ، وبواسطة هورمونات فعالة في الجسد كالتيروكسين والكورتيزون والغلوكاغون التي تعتبر من المحفزات المؤدية الى فرط كرين الدم ؛ وايض اللييد والپروتيد بواسطة النخامية ، والدرقية والقشرية فوق الكلوية . ونظراً لأهمية التضييقات التي تؤمنها الحلوة الصماء (بنكرياس) ، والقشرية فوق الكلوية ، وشبه الدرقية ، فهي جميعاً ضرورية للحياة .

5- فضلاً عن وجودنا العضوي ، فان الغريزة ، والنفسية ، والشخصية ، تتعلق كلها بالهرمونات . في سنة 1947 بين سوليراك Soulairac ان الشهية الغلوسيدية تخضع لاولية غددية صمائية معقدة تتدخل فيها الحلوة الانسولينية ، والدرقية والقشرية فوق الكلوية تحت رقابة الغدة تحت المهادية النخامية . ان البض الجنسي ينطلق من الافرازات الهرمونية في الغدد التناسلية . والغريزة الامومية تنطلق من ذات المحتموية التي تتحكم بالافراز الحليبي : انها محكومة بما قبل الحليب « پرولاكتين » . والغضب والخوف ، هما تحت تأثير الهرمون الدرقي ،

والادرينالين ، مع مشاركة من الجهاز العصبي . ان العوامل الغددية الصمائية ، تبدو وكأنها ترفع الحساسية الانتقائية تجاه بعض الحوافز الخارجية .

ودراسة التفاعلات الصمائية المقارنة لدى الفقريات ، بينت ان الهرمونات ليست لها اية خصوصية حيوانية (ج . ف . غودرناتش Gudernatsch ، ور . كيهل Kehl 1929) . ان المعايير الضرورية للحصول على جواب ضئيلة للغاية ، من مقدار واحد بالالف من المليغرام .

التناسق الغددي الصمائي - يبدو العمل الصمائي متسلسلاً في طبقات متناسقة جداً . فبعض الغدد مثل « الحشوة فوق الكلية » تستجيب لحوافز عصبية ، ولكن معظمها يخضع للمفعول الكمي والنوعي ، الناتج عن رسول كيميائي داخلي مكتشف في الوسط أو البيئة وفي الاخراجات . ان الحاجة الهرمونية في الجسد تحفز المنبع ، في حين ان الزيادة تنشفه (ر . كورييه Courier) . ان التوازن الغددي المزاجي يشكل هكذا « اوالية ذاتية الحركة » خاضعة للغدة النخامية .

ان النخامية هي طبقة التحكم الاعلى ، انها « الدماغ الانبثائي » ، حيث تنطلق المحاور الوظيفية : نخامية - درقية ، نخامية - قشرية - فوق كلوية ، نخامية - رحمية . ان النخامية تستجيب لعوامل صمائية وعصبية . والاولى هي بصورة اساسية الاحتياجات الى هورمون يُفرزه تأثير حافز « ستيمولين » خصوصي ذاتي . والثانية تحمل على اعتبار الدماغ المتوسط والنخامية كجهاز « متراكب متزاوج » . ان التحكم « تحت المهادي » (هيپوتالاميك) ، المنبثق عن النشاط السابق على النخامي ، يبدو وكأنه يعمل بالطريق الوعائي المحلي .

ولادة علم الغدد الصماء الجنسي لدى الفقريات - من المعروف ، من زمن طويل ، ان الغدد الجنسية - عدا عن نشاطها الصمائي - تؤثر في مجموع الاعصاب ، وقد لوحظ ان هذا المجموع يضم بعد الخصى .

وعلى كل إن اوالية مثل هذا العمل - اي الوسائل التي بها يتحكم المبيض والبيضة (الخصية) في حالة المجاري التناسلية والاعضاء الخارجية - كانت مجهولة تماماً . لا شك ان السمات الجنسية الثانوية ، كانت معروفة في القرن الثامن عشر وقد حددها و . هونتير . كما جرت عمليات زرق من مستحلبات الخصية أو النطفة ، خاصة من قبل براون - سيكارد (1889-1891) . ولكن الحقبة الصمائية ، فتحت حقاً بعد فرضية العالم بالانسجة آ . پرينانت (1898) Prenant ، وموجها يرتدي الجسم الاصفر بنية غدة ذات افراز داخلي .

في السنوات الاولى من القرن اكتشف ب . بوين Bouin وب . آنسل Ancel ان الوظيفة الصمائية للخصية تتموضع عند مستوى الخلايا الحشوية التي وصفها ف . ليدنغ (1850) . ان هذه النظرية ، التي كانت موضع جدل حاد ، اصبحت اليوم راسخة .

بين فراينكل Fraenkel سنة 1901 ان الاجسام الصفراء ضرورية لتطور الحمل . ثم جرت تجارب اختبارية دقيقة حول تأثير اللوتين [وهو هورمون يهيء الرحم لتقبل البويضة الملقحة] في مستوى الرحم .

قام بُووين وآنسل سنة 1909 بانزاء اوانب اناث بذكور جعلت عقيمة . في هذه الاناث المطرقة [المثارة جنسياً] افتحاً ، حدث الانفتاح الرحمي ، مقررنا بظهور الجسم الاصفر . ان هذه الحالة من الحمل الكاذب لم تكن لتحدث اذا مورس استئصال المبيضات او كي الاجسام الصفراء ؛ وبالمقابل فانه يحدث على اثر القطع الصدمي التجريبي للجريبات (للمرحم) . وبذات الوقت ، بين ج . لوب Loeb ان مرور خيط عبر غشاء الرحم - لدى حيوان التجربة - يتبعه تحول اسقاطي في الخلايا الملحمية داخل البطانة الرحمية ، شرط ان تكون اجسام صفراء موجودة في المبيضات . ان ردة الفعل الاسقاطية تتوافق مع تشكل مشيمة امومية ؛ وهي تحتاج الى هزة بسيطة ، وكذلك الى اهاجة على مستوى الغدد الصماء .

النجاحات الاولى - تلت هذه الحقبة - حقبة السابقين - استقصاءات شكلانية وتجريبية حول النشاط الدوري الذكوري والانثوي .

تبين البحوث النسيجية الفيزيولوجية ان بنات المجموعة العصبية تتطور بالتناسق مع تطور الغدة الجنسية ، وان الاختصاص يضمنها ، في حين ان التلقيح بالغدة الجنسية يحيتها . ان البطانة المهبيلة تنتعش وتليف عندما تنضج الجريبات داخل الغدة التناسلية ؛ وبذات الوقت يقع الحبل [الشوق الجنسي] . وكانت الحكاكة المهبلية ، بعد حشفة السطح الغشائي ، قد اتاحت استخلاص خلايا لفحصها بالمجهر وكانت بذات الوقت الخيط الهادي الى علم الغدد الصماء الجنسية . واذا كان الرحم يتجاوب بتغيرات ذاتية تجاه وجود الاجسام الصفراء ، فان الغشاء المهبلي هو الذي يتلقى تأثير الجريبات .

ان بعض الظواهرات تقدم وضوحاً يكاد يكون مضحكاً : تفارق تظفي دياسيميائيك لدى الثدييات الذكور الثابتة ، نماذج من الدورة المبيضية (المرحلة الجرابية ، بيض مفاجيء ، مرحلة تحفيزية تحفيزية) ، استعمال عرف الديك كمنشط ذكوري .

نم بذل جهد لعزل المواد المسؤولة عن التحولات في المتلقيات . في سنة 1923 - 1924 ركز أ . آلن Allen وا . آ . دوازي Doisy من جهة ، و ر . كوريه من جهة أخرى ، على فهم التحضر المهبلي . فبينوا ان لدى انثى الجرذ أو الكويساي (حيوان المختبر) المخصي ، يُعيدُ زرق خلاصات من السائل الجيوي المبيضي الصورة النسيجية المماثلة للصورة المتكونة ساعة الحمل . وهكذا اثبتوا وجود مبدأ هورموني سماه ر . كوريه « فولكولين » أو الجيوي .

وفي سنة 1927 بين و . كوريه ان الفولكولين ليس هو هورمون الجسم الاصفر . فهذا الهورمون هو الهروجسترون ، الذي اكتشفه ج . و . كورنر ووم . آلن سنة 1929 ، وقد بلّره آ . بوتيناندت Butenandt سنة 1934 .

ومنذ سنة 1920 تم الكشف عن علاقات نخامية جنسية بفضل استئصال الغدة النخامية ثم اعطاء مستخلصات من الغدة الصنوبرية . وعندها طرح السؤال ، الذي لمّا يقفل بعد ، حول تعددية الافرازات الغددية التناسلية : A (F.S.H) ذو المفعول التحفيزي الجيوي والمولد للنطف ، و B (L. H) ذو الاثر التحفيزي المثير ، وهويثر الشنايا الخصوية . في سنة 1933 توصل أو . ريدل

Riddle إلى عزل البرولاكتين [ما قبل الحليب] السابق على الافراز الخامس الذي يطلق الافراز الحليبي .

واكتشف ب. زوندك Zondek وس. أشهايم Aschheim (1927) وجود مواد هورمونية في البول . ان غزارة افراز الفوليكلولين (الجرابيات) أثناء الحمل عند المرأة أتاحت دراسته كيميائياً بسهولة كما أتاحت اعداداه صناعياً . ان الجيل البشري مشتم أيضاً بافراز خاص لعصارة الغدد التناسلية « غونادو ستيمولين B » ، مما أتاح تشخيصه الاكيد والمبكر ، بفضل البيضات الميضية المستثارة عند إعطائه للارنب الأنثى (أشهايم وزوندك 1928) . ان الهورمونات المتنوعة موجودة أيضاً في الدم .

ما قدمته البيوكيمياء - عندئذ بدأ عصر الاكتشافات الكيميائية . ان المستحضرات الناشطة قد نُقِيت وولُت . وعندما توضح⁽¹⁾ تماماً صيغها ، التي تحتوي على نواة كحولية صلبة والتي تشبه صيغ الهرمونات القشرية فوق الكلوية ، جرى البحث في تحقيق تركيبها .

وتم الحصول على أوستروجين [مولد السفاد في الرحم] صناعية ، غير مزودة بنواة كحولية صلبة : (ستيلوبسترون ، هكزوسترون ، بانزوسترون ، حامض دوازينوليك) . ان بعض هذه المواد مزود بنشاطات فيزيولوجية متعددة : مثل البرغنينولون : المهيج لهرمونات الأنوثة والذكورة وللجسم الاصفر المساعد على الحمل ؛ ثم الالينولات المزيل لاوكسجين الافراز القشري (دي - زوكسي - كورتيكو - ستيرون) ، الخ .

نهضة علم الغدد الجنسي - ان الباحثين ، وقد تزودوا بأسلحة قوية ومضمونة ، استطاعوا أن يوسعوا ويعمقوا حقل استقصاءاتهم : مسائل الاثر الكمي للهرمونات والترابط فيما بينها ، التوازن الغددي الصمائي الجذبي ، الاستعداد الضرعى ، تحديد الجنس عند الجنين .

ولدى مجموعات الفقرات على أنواعها ، تقرر ان الهورمون الذكري تفرزه الخلايا بين الثنايا في الخصبة ، وهذا العمل يحكمه توازن غذدي مزاجي ، ويخضع لسيطرة النخامية . أما الهورمون الاناثي تفرزه أيضاً القشرية فوق الكلوية وربما المبيض . وهو يعمل بحسب المقادير الموزقة ، انطلاقاً من عتبة تتعلق بالمتلقي ، ووفقاً لمنحنى وُضِعَ لعرف الديك . ان العناصر التي تحكم بعمل المبيض قد تم تفريدها . ان الاعداد للاباضة كان موضوع استقصاءات : وترتيب العملية زمنياً تحدد عند المرأة في اليوم الرابع عشر من الدورة الحيضية والتي هي حقبة الانخصاب القصوى .

ان الأوستروجين [المثريات] والجسم الاصفر يقدمان علاقات فيما بينهما تنسيقية : تنسيق التالي (فالهورمون الميضي فوليكولين يحسب المتلقيات أمام مفعول البروجستين « محرض على الحمل ») ، تنسيق الأنثى أو التوافق (فالفوليكولين يساعد المحرض ويتبع عموماً حفظه وتوفيره) .

(1) لمزيد من التفاصيل راجع ر. دوبري وج. ديوكوا (الفقرة IV ، الفصل II من القسم الخامس) .

ومع ذلك فبعض مقادير الاوستروجين المعطاة ، في مرحلة التحفز الرحمي تعطل التفاعلات المساعدة على الحمل (ظاهرة التضاد الهرموني المبيضي) . ان قوانين التضاد والتوافق هذه هي عمومية ، ولكن الانماط الكمية تختلف بحسب الاجناس وبحسب المتلقيات .

إن تشريط (اعداده وتحضيره) غشاء الرحم الانثوي وتحديد الحيض الشهري الذي يتأتى من جراء نقص الهرموني قد حللا . والتطعيم ، عند القردة ، بجزء من الغشاء المهلي في الغرفة السفلى من العين قد أتاح الرصد المجهرى للتحويلات النسيجية .

لقد جرى تحليل الحمل بفضل دراسة الافرازات الهرمونية ودراسة حالة المتلقيات التناسلية الخاضعة لهورمونات خصوصية . والاعتداءات على حالة الحمل قد أتاح تحديد العوامل التي تحفظه ، أو تقطعه أو تمده . يبدو أن الحمل محكوم بالجهاز النخامي ، الجسم الاصفر والمشيمة ، وأهمية كل عنصر تختلف باختلاف الأنواع ولحظة الحمل .

إن تركيز الحمل (اللقط) أو الاعداد للزرع ، والزرع ، ثم التشييم (يخضع لاستعداد نخامي تحفيزي درست قيمته الكمية . وتصفية الحمل تبقى غير معروفة تماماً . والولادة مرتبطة بالتقبض المهلي الذي يثيره افراز الجيوب (فوليكولين) ويمكن أن يطلقها الافراز النخامي الامامي المسمى (اوسيتوسين) . ان الحشوة أو النسيج الضرعى ، يخضع ، في غزارته ، وفي اختلافاته ، للاعداد بفضل الهرمونات المبيضية .

تحديد الجنس عند الجنين - ان التجهيز التلوني الخلوي يختلف بحسب جنس الفرد : يوجد مخزون مزدوج تلوني (ثنائي الصبغة) في الخلايا البدنية ؛ ويوجد مخزون وحيد (فردي الصبغة) في الخلايا الجنسية ، بعد الخفض الصبغي . ولكن « صبغيات مختلفة متنوعة » تشكل - لدى أحد الجنسين (الجنس المذكر لدى الثدييات والانسان) - في الخلايا البدنية زوجين ، وحداتهما متخالفة (صبغات X و Y : ت . هـ . مونتغمري Montgomery ، 1901 ، ك . أ . مك كلونغ ، 1901) ؛ إلى حد انه عند لحظة الخفض ، تراث هذه الخلايا الجنسية من احد الصبغين المختلفين (الامشاج المتنافرة) . وهكذا تصنف النطف البشرية ضمن مجموعتين بحسب تكوين الصبغي ، في حين ان البيضات تشابه كلها (امشاج متشابهة) . ان « الميزان الوراثي » هو المسؤول اذن عن اعداد الجنس منذ التخصيب .

ولكن تغيرات الجنس ، العفوية أو التجريبية (في حالة تداخل الجنين) تفيد ان النموذج الحقيقي لا يتطابق دائماً مع النموذج الموروث . ان الخلية البيزرية ليست محددة بالضرورة من حيث جنسها بموجب تشكيلها الصبغي . ان « الميزان الوراثي » يعمل ، ضمن سلسلة من التأثيرات ، سواء على الخلية اللاوراثية (جرّمين) وعلى الخلية الوراثية (سوما) .

في سنة 1916 درس ف . ليبي حالة التوأمين من جنس مختلف ، المربوطين الملتصقين بتفحمت مشيمية (فري - مارتنس لدى البقرات) . وتقدم الانثى تشوهات نسلية ، وتبدي بعد البلوغ ، سلوكاً غير انوي تتسبب به رسائل كيميائية تصل اليها من أخيها .

إن تجارب محققة على كل مجموعات الفئريات ، قد قامت ، لدى كل الاجنة ، بشكل تطعيم الغدد التناسلية المتغايرة ، أو بشكل التصاق ، أو اخصاء ، أو اعطاء هورمونات مسؤولة عن النشاط الذي يلي سن البلوغ . ولدى « الحيوانات الدنيا » ، تم الحصول على الانقلاب الكامل ؛ ولدى الطيور ان لا طبيعية مبيض على الشمال وخصية على اليمين قد تم ابتعاثها . وعند الثدييات ، لم يتناول التحول أو الانقلاب الغدة ، بل المجاري .

ما هي طبيعة هذه الهورمونات الجينية ؟ بالنسبة إلى ويشي ، ان القشرين الانثوي ، والافراز الليبي الذكري ، اللذين يتعتان بفارق الغدة ، يختلفان عن الهورمونات الجنسية المسؤولة عن نمو المجاري التناسلية الاولى وعن السمات الجنسية الثانوية . ويرى جوست (1934) ان الجنين يحدث افرازاً مختلفاً عن افراز الراشد ؛ ان هذه المواد هي التي توجه تولد العضو عند الجنس الاولي . ويرى أ . ولف (بحوث منذ 1940) ان الهورمونات التناسلية ، التي تدخل بخلال الحقب المختلفة في الحياة (الجينية ، وما قبل البلوغ وعند البلوغ) ، هي من ذات الطبيعة .

إن الخشوية وشبهها يُفهمان من خلال حالتها المرضية ، ويرران الاستجابات العقلانية ، على أساس هذه المعطيات البيولوجية .

V - دفاعات الجسم

المناعة - ان المحافظة على الحياة في الجسد تقتضي ظاهرات دفاعية ضد العوامل الخارجية . ان ابتلاع الميكروبات ، وهي عملية خلوية تصارع الميكروبات المولدة للأمراض ، قد اكتشف من قبل أ . متشنيكوف Metchnikov سنة 1882 . ان هذا المفهوم حورب بشدة من قبل بعض علماء البكتيريا ، المناصرين لنظرية مزاجية حول الافناء الميكروبي . وفي سنة 1894 ، قدم ر . Pfeiffer ، برهنة رائعة حول حقيقة هذه الاولية الثانية (مجلد III) التي توضح ، في مختبر متشنيكوف ، في مؤسسة باستور ، من قبل ج . بورديه ، بفضل توضيح الخصائص المزاجية المرتبطة ببعض مواد المصل المسمى المضاد والمكمل (1895-1901) . والاولى خصوصية ، ولكن الثانية غير خصوصية . وهذا الاكتشاف الذي يكمل اكتشاف الالتحام النوعي (م . غروير وه . أ . دورهام ، 1896) ، واكتشاف التشخيص المصلي (ف . فيدال Widal ، 1896) (مجلد III) ، تبعه اكتشاف اثر انحراف المكمل (بورديه Bordet و . جينغو Gengou ، 1901) ، من حيث يشق بشكل خاص اثر بورديه - واسرمان Wassermann من أجل تشخيص السفلس (1906) .

نعرف اليوم ان المضادات تنتمي إلى مجموعات الغلوبولين . وبعد دروس هذا التشكيلات المؤثرة ، في الجسد ، كره على الاعتداءات ، بحث علم المناعة المكونات المضادة للوراثة والمسؤولة عن تشكل المضادات .

وهذه المضادات لا تنتج عن تحول بروتيني ، بل من تركيب سريع نوعاً ما « جديد » ، انطلاقاً من خلايا صغيرة . والمولد المضاد يغير التركيب بحيث ان الغلوبولين المتكون يمتلك هيئة

تتلاءم معه : انها نظرية « القلب » الكلاسيكية . والمولد المضاد يتدخل فيغير النظام الانزيمي في تركيب الغلوبولين ؛ وهذا النظام ، المتقل إلى الخلايا الوليدة ، يتسبب بذاته في أولية مولدة للمضادات .

وقد تم حديثاً اجراء تجارب حول نقل طاقة تركيب وتشكيل المضادات ، عن طريق زرع خلايا في متلقي تكون فيه هذه الاولية قد ركبت من قبل .

إن الاصل الخلوي للمضادات قد ربط على التوالي بالجهاز الشبكي - النسيجي - النووي ، ثم في النوى اللمفاوية ، ليستقر منسجماً في الأخير إلى النوى البلاسمية . ان النظام الشبكي - النسيجي - النووي يتدخل مع ذلك ؛ وهو خصب جداً عند مستوى الطحال الذي ثبت دوره في المناعة ، دون التعرف على أولية ذلك بالتمام .

إن المحور - النخامي - فوق الكلوي يتدخل لدى كل اشارة خارجية . انه عامل تصد غير متخصص ، في الفرد ، وهو يلعب دوراً في أثر الانذار ، عند سيللي (Selye 1950) . وهناك مبدأ يتدخل في المناعة الطبيعية ، هو البروردين ، وقد اكتشف في الدم حديثاً .

مسألة التطعيم (الزرع) الحيواني - بعد اكتشاف سبب المناعة ضد اللاتوافقات بين دماء الانواع المختلفة من الثدييات (المضادات المتخالفة) ، اوضح القرن العشرون تدريجاً التضاديات الموجودة بين الافراد من نفس النوع (المضادات الفردية البشرية) . وأدى هذا إلى رؤية مسألة التطعيم (الزرع) الحيواني : نقل جزء من عضو ، أما من فرد إلى فرد آخر من جنس مختلف (التطعيم المختلف) أو جنس مماثل (تطعيم متجانس) أو من نقطة إلى أخرى من نفس الجسم (تطعيم ذاتي) . ان عمليات التطعيم الذاتي ، المجرة حسب الاصول ، تأخذ دائماً ، مما يفسر نجاحها في الجراحة التقيومية البشرية . ولكن الامر يختلف في حالات التطعيم المختلف وحتى في التطعيم من فرد إلى فرد ضمن ذات النوع . وفي هذا الموضوع قدم القرن العشرون عدداً من الايضاحات :

لاحظ ل . لوب (1921-1930) ان الاحتمال والتقبل هما اكبر وأشمل لدى اللافقرات ؛ وتظهر ودة فعل فردية لدى الفقريات ، ابتداء من البرمائيات الراشدة . حتى في جنين الفقريات العليا ، لا يكون التطعيم ممكناً الا داخل النوع ذاته . و ان خصوصية النوع في الجنين ، سوف تصبح عند الراشد خصوصية فردية (ر . م . ماي May . وعلى كل ، من الممكن ان تُزَوَّع ، عند الراشد ، أنسجة جنينية من نفس النوع (الزرع البروفلاستيك ، ماي ، 1934) .

والتنافر يكون أقل داخل نفس العرق النقي في الثدييات ، وبين التوائم الناشئة من اتحاد مشيجين بشريين ، وخصوصاً بين افراد الحاء القريب . وقد استخدمت القربى في محاولات التطعيم الكلوي سنة 1959 في بوسطن ثم في باريس .

والطعوم الميتة تقبل أكثر وبسهولة اكبر (ناجوت Nageotte 1917) ، خاصة طعوم الاربطة والعظام التي تؤهل من جديد ؛ هذه الواقعة أتاحَت تنظيم « بنوك العظام » المخصصة للتطبيب

الجراحي . وبعض المواضيع تستجيب بصورة أفضل « لأخذ » الطعام (الغرفة الداخلية في العين ؛ الخصية ، م . آرون ومعاونوه ، منذ 1953) .

إن « مناعة الزراعة أو النقل » (شوين Schoenne 1912) هي التضاعلية التي تسبب بتدمير الطعام الغريب سلالياً . وقدم ب . ب ميداور Medawar مساهمة جلى حول الطعوم المتجانسة منذ 1943 . وعدم التقبل يبدو كردة فعل مكتسبة يظهرها جسم المضيف كله .

إن كل سبب من شأنه أن يفاقم ردات الفعل المناعية ، لدى المتلقي تجاه الطعام يقصر من مدة حياة هذا الطعام . وكل عامل يخفف من ردود الفعل المناعية لدى المتلقي ، يزيد مدة حياة الطعام (أشعة ايكس ، بعض الهورمونات ، زرق المولدات المضادات اثناء الحياة الهيميلية [في الرحم]) .

لا يرفض المتلقي الطعام الا اذا تدخلت ردة فعل مناعية : ان التطعيم يجب ان يقدم المادة المولدة للمضاد وهذا الامر لا يتحقق عندما يكون التطعيم سابقاً على تكون الخلية (brétoplastique) ، على المتلقي ان يصنع المضادات ، وهي قدرة ليست متاحة لا الى اللاقريات ولا لاجنة الفقريات .

إن « مولد مضاد النقل (الزرع) الذي قال به ميداور » هو خلوي ، لا بل نووي أيضاً . وبعد ان عزا اليه تركباً يحرم النواة من الاوكسيجين désoxyribonucléique [مدمراً] ، اعطاه ميداور سنة 1958 طليعة سكرية متعددة الجوانب . والى جانب مولدات المضادات التي تثير الحساسية ، هناك ما يحمي منها ، وهو المسؤول عن ظاهرة التيسير .

إن مولدات المضادات المتجولة لم يكن البثب منها الا استثناء ؛ في حين ان نقل الحساسية سهل الحصول بواسطة الكريات اللعفاوية ، ذات الوجود الضروري من أجل عملية الرفض والرد . هذه الوقائع أدت ، منذ عدة سنوات ، إلى تقريب الظاهرة من ظاهرة « التحسيس البكتيري » ، المتأخر . ولكن الحقيقة ربما كانت اكثر تعقيداً ، لأن المصل أيضاً يتدخل .

إن الفائدة الضخمة المتعلقة بهذه الاستقصاءات ترتبط بأمل تحقيق الطعوم الضرورية للإنسان من اجل تلافي التلف العضوي الخطير . وهذا الهدف لم يتحقق بعد ، رغم بعض النجاحات المشهودة ، والتي لا يمكن تقييمها بحق الا بعد فترة من الزمن .

وأخيراً أن علم السرطان التجريبي يحتاج إلى دراسة متمهلة لسلوك الاورام البشرية المزروعة بالحيوان . هذه الطعوم المتفارقة المختلفة المجربة منذ سنة 1890 (هانو Hanau ، مورر Moreau) تبدو وكأنها سلكت طريق النجاح ، سنداً لأعمال حديثة قامت بها الأنسة تويلان Toolan .

VI - الفيزيولوجيا العصبية والحسية

في فجر القرن العشرين ، كان علم الاعصاب الفيزيولوجي في أوج نموه ، بفضل اعمال باحثين عظام امثال ش . شربنغتون في بريطانيا وي . ب . بافلوف في روسيا وه . و . كوشنغ

Cushing في الولايات المتحدة ، ول . لايبك في فرنسا ، وك . غولجي Golgi في إيطاليا وس . رامون إي كاخال Ramón y Cajal في اسبانيا ؛ وهم باحثون كانوا بذات الوقت رؤساء مدارس . ويفضل عملهم وعمل تلاميذهم ومكملهم ، تقدمت دراسة بنية وعمل الاعصاب والمراكز العصبية والاعضاء الحسية تقدماً ملحوظاً . وقد ساعدت نهضة التقنيات التجريبية ، وخاصة الالكترونييك في هذا التوسع السريع لمعارفنا في مجال مهم للغاية من مجالات البيولوجيا الحيوانية .

علم الانسجة والفيزيولوجيا العصبية - إن التفريق العصبي قد توضح تماماً في أواخر القرن التاسع عشر . ان نظرية الخلية العصبية ، التي حلت بوضوح محل « الشبكة العصبية » قد استوعبت تنظيم « الآلة العصبية » (لايبك) في اطار النظرية الخلوية . ان الاعمال الكلاسيكية التي قام بها غولجي ودي رامون إي كاخال قد أوضحت ، بواسطة تقنيات الومس (التعليم) الفضي ، خيال هذه « الفراسات النفسية الروحية التي تعطي خفقات اجنتحتها الفكر » . وكشفت الميكروسكوبية الالكترونية عن حقيقة الاعصاب الالياف .

وقد حلل القرن العشرون أيضاً وصّف الخلايا العصبية في الدماغ والحبل الشوكي ، التي كان بعضها معروفاً قبل سنة 1900 : فضلاً عن النسيج والغشاء الداعم للجهاز العصبي névroglie épithéliale والديق العصبي النجمي astroglie ، تمّ وصف تشجيرة oligodendroglie تتضمن أيضاً عناصر مهاجرة من الدماغ والحبل الشوكي (نفاكس) وميكروغلية (دبق عصبي دقيق) ذات قيمة نسيجية متوسطة .

إن عمل النورونات (الخلايا العصبية) امكنت ترجمته إلى لغة فيزيائية وكيميائية . ان موجة تنكك الضوء أوزم العمل ، وهي ظاهرة كهربائية تميز مرور السائل الكهربائي ، قد درست جيداً في منتصف القرن التاسع عشر . وفي القرن العشرين اتاح التضخيم بواسطة لمبات التريود ومسجل الذبذبات الكاثودي تسجيل هذه الظاهرة السريعة .

يُن ج . ارلانجر Erlanger وهـ . س . غاسسر Gasser (1922-1929) وآ . في . هيل Hill (1929) ، ول . لايبك (1939) وجود فروقات كبيرة جداً توصيلية بين مختلف أنواع الالياف ؛ وهناك علاقة قائمة بين سرعة السائل وقطر الالياف . وقد أمكن القيام بدراسة كهوفيزيولوجية تتناول نوروناً واحداً (المحاوريات) (اكزون) العملاقة ، في عصب معطف كالمار ؛ العزل التجريبي ؛ استخدام الميكروالكتروود .) واذا قطعنا التيارات المستحدثة بفضل مثير فيزيولوجي ، نلاحظ ، ليس موجة كما هو الحال بعد استشارة مصطنعة (كهربائية) ، بل قطاراً من الموجات (أ . د . آريمان 1930-1926 ؛ ي . زوطرمان) . ان كل خيط ليفي يعمل وفقاً لقانون « كل شيء أولاً شيء » . ان التغيير الكهربائي الذي يتشرب بالتدريج ، يتوافق مع استنفار للايونات . وقد تمّ التركيز على استحداثات الظاهرة فوق خيط من حديد ، سالب ، مغطس ضمن حمام من حامض آزوييك ضعيف ومحكوك سطحياً (عصب اصطناعي عند ر . ليلى ، 1918) . وتعتبر الظاهرة الايونية وكأنها تتم فقط عند مستوى اختناقات رانفييه Ranvier ، وعندها « تقفز » العملية من ضيق إلى ضيق (نظرية التغير الاحيائي) . وانه نحو السلم فوق الميكروسكوبي - عن طريق تحليل الغشاء

البلاسمي - تبدو المسألة متوجهة في الوقت الحاضر .

وقد قام نقاش حول موضوع الوصلات بين النورونات : هل هناك تجاور أم اتصال ؟ هناك تجربة كلاسيكية قام بها ك . بيت (1903-1907) حول هوائي كراب ، تدعو إلى النظرية الثانية . كما تدعو إلى صور الشبكة النهائية التي قال بها بوك Boeke . ان مفهوم التجاور بواسطة الاقتران الصبغي (سير تشلزلز شرنغتون ، 1898) الذي يركز على استقطاب الاتصالات المحققة من قبل رامون اي كانخال ، قد اعاد النورولوجيا (علم الاعصاب) ضمن اطار النظرية الخلوية الكلاسيكية .

فإذا كان السيتون (جسم خلوي) هو المركز الغذائي (آ . ف . والر ، 1852) والوراثي (زراعات هاريسون سنة 1907) ، فإن الرباط هو مفصل وظيفي . وركزت الميكروسكوبيا الالكترونية بنجاح على توضيح التنظيم الذي كان يقتضي - من اجل الفحص الميكروسكوبي - تقنيات اشرايية (وسمية) تخلق احياناً مصطنعة محتملة ؛ وهي اليوم تفتش عن هذا الحد الدقيق حيث تكون فيه خليتان عصبيتان في حالة تجاور بواسطة رباطهما .

ويجدر أيضاً وضع - ضمن اطار الاربطة - اتصالات الالياف العصبية الطرفية بالمتلقيات الحسية والمستحسسات العضلية : ان تكون الصفيحة المحركة (المكتشفة في القرن التاسع عشر) قد تسبب بمجاذلات على المستوى الميكروسكوبي .

إن الآثار الكهربائية ليست الوحيدة العاملة في مجال النشاط العصبي . فتدخل المراد الكيميائية (ادرينالين) ، بعض مركبات البوتاسيوم ، استيل - كولين ، موسكارين ، ايزيرين) قد استُقب من قبل العديد من الباحثين (ج . ن . لانغلي ، 1901 ؛ ت . ر . هوت ، 1904 ؛ و . ه . هويل ؛ ر . هانت Hunt ، و . اي . ديكسون وف . هاميل ؛ ه . دال ، 1914 ؛ الخ) .

في سنة 1921 ، قدم و . لوي Loewi البرهان الحاسم حول دور الوسيطات الكيميائية في العمل التنظيمي للجهاز العصبي العضوي ، وأثر هذا العمل على الاعضاء الخاضعة له .

ان الالياف النظرودية (شبه الودية) تعمل بواسطة الاستيل - كولين ، والالياف الودية تعمل بواسطة الادريالين (و . لوي ، 1921-1924 ؛ ه . دال وه . و . دودلي ؛ 1929 ؛ وب . كانتون وآ . س . روزنبلوت ، 1931-1937 ، الخ) . نعرف اليوم ان الاستيل كولين يتدخل أيضاً في اقبال السائل العصبي ، ويعمل كوسيط بين العصب المحرك والعضل المخطط الارادي ، عند مستوى الرباط الذي يمثل بالصفيحة المحركة (و . فلديرخ وج . ه . غادوم ، 1933 ؛ الخ) . ان الادريالين والاستيل كولين هما بالتالي الوسطان الكيميائيان للنظام العصبي .

إن الكيمياء العصبية تغطي اليوم مجالاً واسعاً يتضمن ليس فقط وسيطات النقل ، بل وأيضاً أواليات بيوكيميائية في العمل العصبي . وفيها نرى تدخل مولد الفوسفور (الفوسفاجين) وحامض آدينوزين - تري - فوسفوريك ، والفيتامين (B₁) ب 1 ، والكولينستيراز (لوي وآ . نافراتيل ، 1924-1926) .

المراكز العصبية - إن الدراسة التشريحية والنسجية والفيزيولوجية لمراكز النشاط العصبي

قد تجددت تماماً ، فالنظام شبه الودي (النظيرودي) درسه و. هـ. غاسكل Gaskell ، وج. ن. لانجلي Langley ، وشيرنغتون ، ودال ولوي ، ولايك ، وآ. ف. هيل وو. ر. هس. وج. ك. وايت ، الخ. والجبل الشوكي كان أيضاً موضوع بحوث عديدة ومهمة . أما الدماغ فقد تابع درسه في الاتجاهات الأكثر تنوعاً .

وإذا كانت الدراسة التشريحية ، بخلاف السنوات القليلة ، قد امتعملت تقنيات جديدة فعالة بشكل خاص ، مثل المصور الكهربائي للدماغ (الكثرو- انسيغالو- غرام ، هـ. برجر ، 1929 ؛ أدريان وماتيس ، 1934) ، فإن تطورها عبر القرن موسوم بتأثير بعض الاقطاب امثال سيرش . شيرنغتون ، وهـ. كوشنغ ، وآ. د. أدريان ، وج. دوسردي بارين ، في بريطانيا ، وك. برودمان وج. پ. كاريلوس ، وآ. كريدل ، وك. ايكونومو ، وهـ. برجر في ألمانيا ، ول. لايك ، وهـ. بيرون ، وج. فسارفي فرنسا ، وهـ. كوشنغ وو. فورستر ، ولورنتوي توفى الولايات المتحدة ، الخ. ان التقدم المحقق في دراسة تعقيد عمل الدماغ وفي دراسة المواضيع الدماغية مرتبط أيضاً بتقدم جراحة الدماغ⁽¹⁾ ونمو الفيزيولوجيا التجريبية .

الفيزيولوجيا الحسية - في القرن العشرين ، صفت المتعلقات الحسية إلى متعلقات خارجية ، ومتعلقات داخلية ، ومتعلقات ذاتية ، وذلك بحسب ما اذا كانت النبضات المتلقاة صادرة عن العالم الخارجي ، أو عن الاجزاء العميقة أو عن العضلات . ان المتعلقات الخارجية الأكثر تعقيداً ، الاذن والعين ، كانت موضوع دراسات منهجية أدت إلى تدرج توضيح مسائل صعبة فيزيائية وبيوكيميائية وفيزيولوجية وسيكولوجية يطرحها تلقي الرسائل الحسية ، ونقلها إلى المناطق المتخصصة من الدماغ ، وتفسيرها النفسي .

في النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، أتاح التقدم السريع في التشريح الميكروسكوبي للأذن الداخلية (كورتى ، شولتز ، هلمهولتز ، هانس ، رتزيوس Retzius ، هاس ، الخ) وتقديم علم السمعيات النظري والتجريبي ، اشهار نظرية هلمهولتز . بحسب هذه النظرية ، يتحقق تحليل الاصوات في الاذن الداخلية ، وبعد تلقي الوتائر المتنوعة في نقاط معينة ضمن الحلزون حيث الياف الطبلة القاعدة ، تنذب هذه الوتائر بالرجع تحت تأثير الاصوات التي تتوافق معها ؛ وينقل العصب السمعي إلى الدماغ رسالة سبق تحليلها .

عرفت هذه النظرية نجاحاً واسعاً ، ولكن عدم كفاية المعطيات التجريبية أتاح صياغة نظريات منافسة (روذرفورد ، 1886 ؛ هورست ، 1894 ؛ ر. إيwald ، 1898 ؛ م. ماير 1898 ؛ أ. تركويل 1900) رفضت بعضاً من مبادئها .

إن الدراسات المنهجية التي قام بها ج. فون بيكيزي Békésy ، ابتداء من سنة 1928 حول ميكانيكية الحلزون ، في بادئ الأمر حول نموذج ميكانيكي مبسط ، ثم حول حلزونات بشرية ، قدمت معطيات ثمينة حول عمل الأذن الداخلية ، مؤكدة بشكل خاص على فرضية موضعة الوتائر ،

إنما داحضة فرضية الرجع أو الرنين . ان تقدم الالكترونييات قد أتاح مقارنة الدراسة من الزاوية الكهرفيزيولوجية .

اكتشف أ . ك . ويشروك . ف . براي Bray (1930) ، وف . لييري Leiri (1935) الانسار المكبر للصوت في الحلزون ، الذي أتاح تحليله حل مسائل متنوعة كانت معلقة ، موضحاً بشكل خاص الدور التحليلي للاذن الداخلية ، ومثبتاً بالتجربة ، موضحة الوتائر المختلفة (تاساكي ، دافيس وليفيوكس) . ان دراسة زخم عمل العصب السمعي (دريشاير ودافيس ، 1935) قد اجريت على نورون وحيد (غالامبوس ودافيس ، 1943) ، في حين ان تنثوري قرر وجود موضعة صوتية في السطح السمعي للدماغ لدى الكلب . ان نظرية القفزة Volée التي وضعها أ . ويشر Wever ، تحاول أن تفسر هذه المعطيات المتنوعة الحديثة . وهكذا ، وبأقل من نصف قرن ، حققت نظرية السمع تقدماً مهماً جداً .

إنما ، بواسطة القنوات نصف الدائرية ، تشكل الاذن الداخلية أيضاً مركز حس التوازن (فلورنس ، 1830 ؛ ر . ابوالد ، 1895) . وقد أوضح العديد من الباحثين هذا الدور ، خاصة ر . باراني الذي حقق أعمالاً مهمة حول الفيزيولوجيا وحول علم أمراض الجهاز الدهليزي [في الاذن] (1905-1911) .

وتجب الإشارة أيضاً إلى التقدم الملحوظ المحقق في مجال فيزيولوجيا النطق ، بفضل تجريب أكثر منهجية ، مرتكز على استعمال تقنيات القياس والتسجيل ، التي يزايد كمالها (آ . موزيهولد Musehold ، 1898 ؛ آ . بارت وأ . غرونماك ، 1907 ؛ ف . ترندلنبورغ ، 1924 ؛ ر . هوسون ، منذ 1945 ، الخ) .

وحققت فيزيولوجيا الابصار تقدماً أيضاً . ان تطور الكهرفيزيولوجيا البصرية قد كان ملحوظاً بشكل خاص .

إن تقنية التسجيل الكهربائي (ف . غوتش ، 1903 ؛ آ . بروسا وآ . كوهلروث ، 1913) قد استفادت من تقدم الالكترونيك . ان الظاهرات الكهربائية التي ولدتها اضاءة العين قد لوحقت منذ الشبكية (الكترودات ستاهية الصغر ادخلت في اعماق متنوعة : ر . غرانيت) ، إلى أن وصلت إلى العصب البصري (أ . د . أدريان ور . ماتيسوس ، 1927-1928 ؛ تسجيل تيار العمل فوق شبكة عصبية مفصولة عند الضفدع (ه . ك . هارتلين ، 1938-1940) وفوق ليفة فردية عند النقب (الليمول)) ، وفي قشرة الدماغ البصرية (دي قالوا ، 1958) .

وخصصت بحوث مهمة حول الاحمر الشبكي ، وهي مادة تتلقى الضوء ، استخلصت من العصبيات من قبل و . كوهني Kühne (1878) .

وتبين حديثاً أن الفيتامين (A) آ هو نقطة انطلاق تشكل هذا الاحمر (رودويسين) وكذلك تشكل مواد مجاورة قريبة يمكن أن تدخل في عملية الابصار لدى بعض الحيوانات (روشتون ، و . د . رايت ، ر . آ . ويل) . ونجح ه . والد في تركيب الراودويسين واعاد دورة الضوئية

الكيميائية . ان أولية توليد الكهرباء ، وهي ممر عملية الضوء الكيميائي إلى الاثارة العصبية ، قد درست من قبل والد وك . ر . براون ولكنها ما تزال غير معروفة بصورة جيدة . ان رؤية الألوان ، المفسرة وفقاً للنظرية الثلاثية [أزرق ، أحمر ، أصفر] التي وضعها يونغ ، يُبحث عنها اما في تخصص المخروطات ، واما في امتصاص لمختلف الاشعاعات ، في أعماق مختلفة (ج . فون كريس ، و . آ . ناجل ، و . اوستولد ، و . م . ستيلس ، ي . لوغرمان ، و . د . رايت ، الخ) .

وهناك مظاهر أخرى للابصار الفيزيولوجي وضعت فضلاً عن ذلك⁽¹⁾ ، ونكتفي نحن بالتذكير بالبحوث المهمة التي قام بها آ . غولستراند (1900-1911) حول عمل العين الابصاري ، والتضييظ ، وعيوب البصر ، كما نذكر ببحوث ك . فون هس حول التضييظ ، ودراسات ه . بيرين ، ودراسات أ . بومغاردت Baumgardt حول التفسير الكمي للعتبات الابصارية ، وبالأعمال الكاملة التي قام بها ر . غرانيت ، س . بوليك ، ه . ك . هارتلين ، الخ .

الانعكاسات - ان المعارف حول الانعكاسات قد تقدمت كثيراً بخلال القرن التاسع عشر (مجلد III) . وبعد ان كان بلل Bell وماجاندي Magendie قد أوضحا القيمة النسبية للجذور الشوكية الظهرية والبطنية ، اثبت لونجيه Longet ، وفلوجر Pfluger ، وش . ريشيه Richet ، قوانين الانعكاسات النخاعية . ان المعطيات الشكلانية التي قدمها أخيراً رامون اي كالخال ، أدت إلى تمثيل خلوي للظاهرة بوصف القوس ذي النورونات الثلاث . من السهل تصور سلاسل اكثر امتداداً ، وترتيبات أكثر تعقيداً ؛ خاصة وان سبل التوصيل المحورية الداخلية وفيزيولوجية المراكز قد أصبحت معروفة بصورة أفضل . وأخيراً ان مفهوم الاقتران (الرباط) (م . فومستروش . شرينغتون 1897) يقدم المفهوم الذي يتيح فهموصلات بين النورونات والسلاسل . واستخدمت هذه النتائج كأساس للدراسات التجريبية . في القرن العشرين ، تم تحليل تفاعليات التجسم (Sommaton) ، والحقبة المستعصية ، والاعاقة . وركزت مدرسة شرينغتون البريطانية على الانعكاسات التي تتحكم بجمودية الفرد ويوضعه .

إن الانعكاس الانقباضي عند أ . ج . ث . ليبل وشرينغتون (1904) هوردة فعل تقليصية من العضلات الباسطة للاطراف ، كجواب على تمدها . ونلاحظ هذا في القساوة التي تعقب نزح الدماغ التجريبي . ويزول التقبض عند قطع الجذور العصبية الظهرية . انه انعكاس تابع ، غايته مقاومة أثر الجاذبية الأرضية . وقساوة نزح الدماغ ليست مظهراً من مظاهر الإثارة : انها تنأى من تحرير بعض المراكز البصلية - المخية النافرة ، وخاصة النوى الممراتية ، من الاوامر العليا الصادرة عن القشرة الدماغية ، وهذا التحرر يمكن تحقيقه بالقطع عند مختلف المستويات ؛ مما يؤدي إلى نتائج متنوعة . ويعيز ر . ماغنوس نزح الدماغ الأعلى ، وفيه تكون الانعكاسات التصورية موجودة ، عن نزح الدماغ الأسفل ، حيث تعدم هذه الانعكاسات .

(1) راجع الفصل ٧ ، القسم الثاني .

الانعكاسات الشرطية - ان أعمال ي . پ . پافلوف (1849-1936) قد اكتسبت شهرة لها ما يبررها بفضل الضوء الذي ألقته على الاواليات الاسمى في السلوك ، بل وفي النفس . فمنذ سنة 1902 ، توصل پافلوف - الذي جُرَّ إلى هذه المسائل بفضل أعماله حول فيزيولوجيا الهضم - إلى تصور واضح لأهداف البحث الذي كان يشغله منذ أربعة وثلاثين عاماً .

ان عمل الاعضاء ، التي تبدو بدون أهمية ، مثل الغدد اللعابية ، يتسرب بدون وعي منا في النشاط النفساني عن طريق الاحاسيس والشهوات والافكار التي تؤثر بدورها في عمل الغدد بالذات .

ومناسبة منحه جائزة نوبل سنة 1904 ، قارن بين الافراز الانعكاسي المعتاد لللعاب وبين الافراز اللعابي المستثار بإثارة من تلقايت أخرى . ويفضل پافلوف ، ويفضل تلاميذه وأتباعه كان لهذه الطريقة أهمية متزايدة في مجال علم النفس الفيزيولوجي .

إن الانعكاسات الشرطية والمكتسبة تتعارض مع الانعكاسات الخلقية الوراثية أو غير المشروطة ، والموجودة لدى كل الافراد ، مورثة ومرتبطة بسبل عصبية مقررة مسبقاً ، في حين ان الانعكاسات المكتسبة تتميز بعدم استقراريتها .

وتُصنف الانعكاسات الشرطية كخوافز (أو ايجابية) اذا تسببت بانعكاس أو تكون كابحة (أو سلبية) ان هي ازالَت الانعكاس . وتستخدم لدراسة حدود الحساسية في الاعضاء الحسية لدى الحيوانات : ويلمح الانعكاس الشرطي مع التدمير الموضوعي في الجهاز الحزوني ، يمكن التوصل إلى تحديد اتجاه أي الأصوات يكون الصمم .

لقد تم درس الاواليات العصبية في الانعكاسات الشرطية . وخاصة ضرورة سلامة القشرة الدماغية ، وذلك عن طريق استئصال جزئي ومخصص أو كامل . ان بعض المواد (كالكافين ، والستريكنين) تزيد في زخم الانعكاسات الايجابية وتنقص من السلبية ، طيلة مدة أربع وعشرين ساعة تقريباً ؛ ويزيد البرومور السلبية لمدة يومين أو ثلاث .

البيوسيرينيتية والفيزيولوجيا العصبية - ان اصول السيرينيتية [علم التحكم والضبط الآليين] قد درست في موضع آخر⁽¹⁾ ، إنما نذكر هنا فقط بالاتصالات بين هذا العلم وبين البيولوجيا (أو علم الاحياء) . يرى السيرينيتيون ان علمهم يشتمل ، ضمن نفس التركيبة التفسيرية ، على الآلة الاصطناعية . ان السيرينيتية تمكن المسائل العصبية ، وبين الجهاز العصبي أمثلة موجزة عن التنظيم الذاتي بواسطة التغذية الراجعة (feedback) . ان المماثلة الوظيفية مرتبطة بمماثلة في البنية . والفرد ينظم عمله بناء ووفقاً للمعلومات التي يتلقاها . ويُسمح بالتصور ان بعض المفاهيم العقلية تتوافق مع ترتيبات صورية في اعضاء التفكير . وهناك مثل مقنع يقدمه ن . وينر Weiner : ان جهاز مك . كولوش ، الذي يتيح للعميان القراءة ، يحتوي على ترتيب (تنظيم) كهربائي يتطابق مع القشرة الرابعة في القشرة البصرية البشرية .

(1) راجع دراسة ف . لوليوتيه في الفصل IX من القسم الأول .

البيولوجيا وعلم النفس

نذكر أخيراً ، ان جسراً قد قام بين البيولوجيا وعلم النفس . ان هذا العلم الأخير لم يعد فقط استبطانياً . فقد استعملت فيه طريقة « السلوكية » (behaviorisme) التي وضعها ج . ب . واطسون⁽¹⁾ ، والاساليب الطبيعية عند الحيوان المرتبطة بالانعكاسات الشرطية والروائر الدالة على الذكاء عند الثدييات وعند الانسان . وتم توضيح العوامل العضوية ، وخاصة الهرمونية ، المؤثرة في السلوك .

هناك علوم كثيرة قد ولدت ضمن هذا الاطار ، اطار علم النفس الفيزيولوجي : علم نفس الاحساسات ، علم النفس الحيواني ، علم النفس التجريبي ، وعلم الطبائع ، الخ . وظهر هذه المجالات العلمية يؤكد على طموحات الطريقة البيولوجية التجريبية التي تنصدي الآن للاولية النفسانية لدى الانسان العالم (homo Sapiens) .

(1) اختلف مظاهر علم السلوك في الفقرة IX ، الفصل III من هذا القسم .

الزولوجيا أو علم الحيوان

تشمل دراسة علم الحيوان حقلاً واسعاً : إن الدراسة المفصلة للحيوانات تشمل ، ليس الشكل (مورفولوجيا) ولا التشريح (اناتوميا) ولا علم الوظائف (فيزيولوجيا) ، ولا الجنس ، والنمو ، وعلم الأجنة ، والمنهجية ، فقط ، بل تشمل أيضاً البحوث البيئية (إيكولوجيا) وعلم العادات والسلوك (إيتولوجيا) . والبحوث البيئية تحلل شروط الحياة في الملى الجغرافي والثانية أي علم العادات والسلوك تحلل سلوك الحيوانات وعلاقاتها المتبادلة . ودراسة علم الحيوان عرفت تجديداً براقاً بعد فترة من التراجع المؤقت ، سببته منهجية بالية ، ساعدت على توجيه الأعمال نحو مجالات عملية أخرى .

I - طرق وتنظيم البحث

إن تحسين مختلف التقنيات ، الذي بدأ في القرن التاسع عشر ، قد استمر بخلال القرن العشرين ؛ فضلاً عن ذلك قُتِمَت بعض الاكتشافات وسائل جديدة للاستقصاء بدلت دقيقة بشكل خاص .

علم الفحص المجهرى (ميكروسكوبيا) والتقنيات المتجمعة - إن الميكروسكوبيا قد حققت تقدماً عجبياً وهذه بعض مراحلها .

حقق ف . أ . إيفس Ives (1902) ميكروسوباً (مجهراً) ثنائى العينية . إن الميكروسكوب المتفوق الذي وضعه « سيدنتوف - زيسموندى » (1903) أتاح تمييز جزئيات من عيار $0,004 \mu$. وفي سنة 1904 بين و . كوهلر من يينا Iéna أن الخلايا الحيوانية يمكن أن تصور فوتوغرافياً باشعة فوق البنفسجية ؛ وقدمت هذه التقنية التي حققها ج . أ . بارنارد (1925) خدمات جُلى في دراسة البكتيريا . إن هذا الميكروسكوب ، ذا الضوء فوق البنفسجي ، الذي حسَّنه كاسبرسون (1936-1955) أتاح تقدير معايير الحوامض النووية . واستخدمت الميكروسكوبيا ذات الضوء المكثف من قبل و . ج . شميدت وتلامذته سنة 1924 في فحص الخلايا والانسجة الحيوانية .

وظهر ميكروسكوب تباين السطوح (زرنيك ، 1938) فأتاح فحص خلية حية في

ظروف جيدة جداً كما الخلية المثبتة والملونة . ولكن الثورة الكبرى في القرن العشرين كانت في اختراع المجهرية الالكترونية التي تمكن من تفحص البنيات المتناهية الصغر من الخلايا ، وبالتالي ، أدت إلى إعادة النظر في علم الخلايا وعلم الانسجة .

إن الفحوصات الأولى للأشياء البيولوجية بواسطة الميكروسكوب الالكتروني تعود إلى حوالي سنة 1932 . ولكن انجاز تقنيات دقيقة ، والحصول على شطائر لا متناهية الرقة (100 Å) تعود فقط إلى سنة 1952-1953 . إن الاعمال الحالية في مجال الميكروسكوبيا الالكترونية ، العديدة جداً ، تنقل الملاحظة إلى المستوى الخلوي .

السينماتوغرافيا - (التصوير السينمائي) - في سنة 1904 قدم آ . پيزون Pizon أول فيلم حيواني مسجل على بوتريللوس . وعرفت السينماتوغرافيا ، بعد ذلك ، تقدماً عجبياً . وتسريع عرض الظاهرات بنسب تتراوح بين 30 إلى 6000 مرة ، أتاح رؤية حركات مبطأة للغاية . ويفضل التبطيء أصبحت الحركات السريعة خاضعة للتحليل .

وفيمما بين 1910 و 1939 ، قام رواد (ج . كوماندون ، أ . فوري - فرميت) Fauré-Fermiet ، ج . بانليقيه ، ج . جولفي في فرنسا ، م . ر . و . ه . ليوس ، في اميركا) باكتشاف وقائع مهمة كانت حتى ذلك غير مرئية . وأتاح ميكروسكوب « تباين الطور » ، المدمج بالتصوير السينمائي (سينماتوغرافيا) ، رصد حركات الخلايا وداخل الخلايا . ومنذ سنة 1950 شاع استعمال هذه التقنية إلى حد بعيد .

إن الأفلام العلمية ، بالاسود والأبيض وبالالوان قد انتشرت بشكل واسع ومظاهر الكائنات الحية اللامعدودة تلتقطها الكاميرا التي تعتبر وسيلة قوية من وسائل التحليل والاستقصاء ؛ إن أفلام ج . بانليقيه ، وفون فريش وك . لورنز ، وكيلوغ ، وغراسي ، ودراجسكو ، وكثير غيرهم ، أصبحت كلاسيكية .

التشريح المجهرية - بخلاف هذه السنوات الاخيرة ، تقدمت تقنيات الوسائل التكبيرية . ومنذ سنة 1924 ، درس تشامبرس بنية الخلية البلاسمية بواسطة التشريح المجهرية ، وفي سنة 1912 ، اخترع تشاشوتين Tshachotin تقنية الثقب المجهرية ، لانتلاف منطقة صغيرة خلوية بواسطة شعاع ميكرو من الضوء فوق البنفسجي . ومن أفضل الآلات الميكروسكوبية الاستعمالية ، ما وضعه پ . فونبرون سنة 1939 . وفي سنة 1955 نشر كويباكس دراسة لمختلف انماط المعالجات الميكروسكوبية ، وما فيها من إمكانات تجريبية .

تقنيات التحليل الفيزيائية والبيوكيميائية - إن هذه التقنيات المختلفة قد عرفت نمواً غنياً وتقنية النظائر المشعة أو المسجلات الاشعاعية الكاشفة للامتاهي الصغر تستحق انتباهاً خاصاً (راجع القرة II ، الفصل XI من القسم الثاني) .

واستعمال النظير الاشعاعي الناشط يتيح ، كما هو معلوم ، الاشارة إلى وجود بعض الذرات ، وتتبع مسارها داخل الجسم ، ثم اكتشاف تموضعها بفضل عداد جيجر Geiger ، أو

بفضل الطريقة التصويرية الذاتية بالراديو (لاكاسانيه Lacassagne ولاتس Lattès 1924) . إن هذه الطريقة الأخيرة تقوم على الصاق - فوق الصفيحة الفوتوغرافية - العضو أو النسيج المعالج بواسطة النظير ؛ والتصوير الاشعاعي للانسجة ، يظهر الخلايا التي ثبتت والتي لم تثبت النظير الاشعاعي . وتعداد الحيوانات هو ممكن أيضاً ، وبالإمكان تتبع الحشرات والطيور في تنقلها . والعودة إلى العش يمكن أن تتأكد بواسطة خيط رفيع من الكوبالت المشع تثبت في الجسم .

هناك طريقة أخرى غنية بالتطبيقات هي التصوير التلويوني (الاستشراب)⁽¹⁾ . ويجدر أيضاً أن نشير إلى الطرد الفائق والترشيح الفائق ، وإلى الاسترشاد الكهربائي [هجرة كهربائية للدقائق المعلقة] ، (استرشاد فوق الورق ، في أوساط مخثرة مجمدة ، واسترشاد للدقائق تدفقي) ، وإلى المطيافية الامتصاصية ، وإلى التسجيل الطيفي وإلى القياس الضوئي ، الخ .

إن عدد التفاعلات الكيميائية حول النواة وحول الانسجة قد تزايد . وهكذا تكون علم كيمياء النواة وعلم كيمياء الانسجة . ومناهجهما معروضة ومناقشة في كتب د . غليك (1949) وآ . ج . بيرس (1953) ول . ليزون (1953) .

ونذكر أيضاً التقنيات الجينية لزراعة الانسجة والاعضاء التي سبق عرضها .

اظر الجهود الجماعية - أضيفت إلى الجمعيات المتخصصة التي انشئت في القرن التاسع عشر ، جمعيات جديدة تتوافق مع المجالات العلمية الحديثة : علم الوراثة ، قياس الحياة ، استكشاف المقاور ، الجغرافيا الاحيائية ، الخ . وتابعت المؤتمرات الدولية الكبرى دوراتها ، وجمعت مشاركين يتزايد عددهم ، في حين عقدت ندوات كثيرة .

شارك في هذه الاجتماعات حوالي عشرون من الاختصاصيين الدوليين اجتمعوا من أجل عرض المفاهيم المتوفرة حول موضوع محدد تماماً . ويؤدي عرض ومناقشة التقارير إلى تبادل الافكار بشكل مقيد جداً ، في حين يقدم الاستنتاج عرضاً دقيقاً للموضوع المعالج . هذه الجلسات العملية ضمن لجان ضيقة متكاثرة ، تقدم صيغة أكثر انتاجاً من الصيغة التي تقدمها المؤتمرات الدولية .

وحلت البحوث الجماعية محل البحث الفردي بصورة متزايدة ؛ أخذت مؤسسات قومية ودولية (الاونسكو ، ومنظمة الصحة العالمية ، ومؤسسة روكفلر ، الخ) توجه البحوث ، وتتحكم بمناسبة تسريع معالجة مسألة ما ، فتكلف مجموعة من العلماء بدراسة موضوع محدد ، وتوزيع المساعدات . وساد مفهوم جديد في إقامة حدائق الحيوانات .

إن إعادة تكوين المدى الجغرافي الطبيعي الصحيح ما أمكن يوحي بأن الحيوان يعيش حياة حرة ؛ في هذه الحدائق ، تتناسل غالبية الانواع . إن المحايي [أمكنة للمحافظة على بعض

(1) انظر الفقرة IV ، الفصل XI من القسم الثاني .

الحيوانات الحية في وسطها الطبيعي] ، ومرابي المائيات (أكتوبريوم) أخذت تتكاثر ؛ إن الظروف الممتازة (ضوء ، درجة حرارة) المحققة فيها تساعد على حفظ الانواع الصعبة .

إن الادب الزوولوجي (الحيواني) ككل الادب العلمي ، يشكو من التضخم ؛ فقد تكاثرت المجلات المخصصة بوتيرة متسارعة . وقد جرت عدة محاولات لتحرير « موسوعة حيوانية » .

منذ 1959 ، شرع الالمان في نشر (Bronn's Klassen und Ordnungen des Tierreichs) وهي موسوعة عظيمة لما تنته بعد في حين أن المجلدات الأولى ، قد نفذت . في سنة 1925 ، وضع كوكتال تصميماً لمؤلف ضخم « كتاب علم الحيوان » ؛ وتوقف نشره بخلال الحرب العالمية الثانية وهو مستمر الآن ، إنما بوتيرة بطيئة جداً للأسف . وفي انكلترة ، من سنة 1895-1905 ، نشر هارمر وشيلي « التاريخ الطبيعي لكامبريدج » في عشرة مجلدات . إن هذه الموسوعة البدائية نوعاً ما ، تمتاز بأنها انتهت . أما مشروع « موسوعة علم الحيوان » الموضوع سنة 1900 بهمة راي لانكستر ، فقد ترك بعد نشر عدة كرامات . في فرنسا قلما كانت محاولات بداية القرن ناجحة . فقد قام ديلاج Delage وهيروار Hérourard بتدوين « موسوعة حيوانية مختصرة » نشرت منها ستة مجلدات ، متقنة التصاوير (1896-1903) . وتحت اشراف ر . بلانشار ، تم نشر « موسوعة علم الحيوان » ، ولكن من أصل ستة وعشرين كراساً مرتقياً ، نشر فقط كراسان (1897) . ورغم أنها ليست من المرتبة الكبرى ، فإن موسوعة الزوولوجيا ، في ستة مجلدات ، التي وضعها إد . ور . بيريه (1893-1899) ، ظلت لمدة تزيد عن الأربعين سنة الموسوعة الزوولوجية الأساسية . ومنذ 1948 ، هناك موسوعة زوولوجية حديثة ذات منحى تطوري ، هي قيد النشر تحت اشراف پ . پ . غراسي ؛ ويشارك متخصصون فرنسيون وغير فرنسيين في هذا العمل الذي يتضمن تصميمه 17 مجلداً من ألف إلى 1200 صفحة (والعديد من المجلدات يحتوي على كراسين أو ثلاثة كراسات كل منها يحتوي على ألف صفحة) ؛ إن بعض المجلدات لم تصدر بعد ، ولكنها جميعاً قيد التحرير : ونشر العالم بالحيوان البلجيكي آ . لاميير Lameer موسوعة زوولوجية من مبعة مجلدات (1929) ، لم تقدر اصالتها حتى قدرها حتى الآن .

II - المفاهيم الجديدة في علم الحيوان (الزوولوجيا)

التصنيفات الزوولوجية - إن غنى النوع الحيواني قد تزايد بشكل ضخم ؛ في سنة 1952 كان عدد الأنواع الموصوفة يقدر بأكثر من مليون . واستفادت دراسة الأنواع القديمة والجديدة من التقدم التقني . وكانت البنيات التشريحية ، والفيزيولوجيا ، والجنس والتناسل ، والنمو عند الكائن الفرد موضوع فحوصات معمقة وهكذا ارتسمت انعطاف هندسية هيكلية . ويعبر التصميم التنظيمي المتناسق عن القرى الحقيقة بين الأنواع وتأكدت أو انتفت أوجه الانتساب بين المجموعات . وأثر هذا التقدم على المنهجية ؛ فبدلاً من التصنيفات القديمة الزائلة ، حلت ، بصورة تدريجية ، تصنيفات حديثة ، متطورة ؛ ترتكز على النسالة (مبحث تكوّن الانسال وتطورها) ؛ وقد عبرت عن الاشتقاق بين الاشكال الحيوانية ، بعضها من بعض ، وعن متابعتها بالتوالد .

ومثل تصنيف الحشرات معبر بهذا الشأن . فمنذ سنة 1758 (الطبعة العاشرة من « سينيما

ناقورا : النظام الطبيعي) الذي وضعه لينني Linné ، ثم وضع أكثر من خمسين تصنيفاً انطلاقاً من سمات مختلفة ، غالباً ما تكون بنية الاجنحة أو الاعضاء الغمية . وهكذا وضعت جنباً إلى جنب مجموعات لا يوجد بينها أية رابطة قرابة فعلية . وبخلال القرن التاسع عشر ، أصبحت التصنيفات المقترحة أكثر إرضاءً (لاتريي Latreille 1831 ؛ بورميستر Burnmeister 1835 . 1838) . وسجل تصنيف بروير Brauer (1885) تقدماً محسوساً . فقد فصلت اللانجانيات عن المجنحات التي لها اجنحة أو التي فقدت اجنحتها فيما بعد . وادخل بورنر تحسينات على تصنيف بروير سنة 1904 ثم جاء هندليرش يكمل عمل بورنر سنة 1908 ؛ وكان هندليرش إحيائياً ، ورغم ذلك لم ينتج في وضع تصنيف يشمل بيان واحد الحشرات المتحجرة والحشرات الحالية . والمحاولات الأكثر جولة (ر . ج . تيليار ، 1930 ؛ آ . لامير 1931 ، ب . مارتينوف 1938) شملت أخيراً الحشرات المتحجرة والحية .

والأمثلة قد تتضاعف إلى ما لا نهاية . وعلى فترات متفاوتة من حيث طولها ، تمت مراجعة التصنيفات وأجريت عليها إما تعديلات طفيفة ، إما تغييرات عميقة . فمن الصفوف ما كان لا يتضمن أكثر من فصيلة واحدة أصبح يحتوي ثلاثاً أو أربع ؛ واستحدثت رتبة جديدة . ولم تسلم الفئات العليا من حيث التراتبية من التغيير . فمن التشعبات أو التفرعات القديمة ما فقد قيمته في الواقع لأنه يجمع بين مجموعات لا نسب بينها ؛ ثم أن هذه التسميات القديمة يجب أن تزول ، حتى من الكتب المدرسية .

استبدل فرع معائيات الجوف الكبير الذي كان يضمّ البلاسمات والمشطيات بشعبتين ، شعبة للاسعات وأخرى للمشطيات ، وهما متميزتان رغم التقارب بينهما . كذلك انقسمت مجموعة الحيوانات الحزازية (الطحلبية) إلى صفتين : صف خارجيات الشرج أو الحزازيات s.s.t. وصف داخلات الشرج أو الحيوانات اللدنة . وتشكل هذه الأخيرة صفّاً متفرداً . وكانت الجسريات التي تجمع المزماريات ، وأفعويات الذيل ، والقضيبيات تشكل مجموعة مصطنعة كلياً لم تعد موجودة اليوم : فالمزماريات وأفعويات الذيل والقضيبيات هي شعب مختلفة ؛ حتى أن لشعبة القضيبيات القليل القليل من التجانس مع الشعبتين الآخرين . كذلك ، كانت الدوديات التي صنفها ديلاج وهيروارد تتضمن سبعة صفوف وتشكل مجموعة متنافرة تماماً .

والحققت الخطيات ، وهي أحافير بحرية من العهد السيلوري ، بالهيدريات ؛ وقد سمحت الدراسات التشريحية على عينات محفوظة جداً في الصوان للعالم كوزلوسكي Kozłowski (1938) أن يثبت تألفات هذه الحيوانات مع الرابدولورا (عصوية) من صف ريشيات الخياشيم (شعبة من الفمويات stomocordés) .

وتأسيس هذه الفئات المنهجية نادر ، وتزداد ندرته كلما ارتفعت مرتبتها التسلسلية ؛ والاجناس الجديدة كثيرة جداً ، والانصاف الجديدة فيها كثيرة أيضاً ، أما الرتبات والصفوف والفروع الجديدة فهي تزداد ندرة .

وكان أول أمامي ذيل ، وهو النموذج الاصلي لهذه الفئة ، قد اكتشف ، ووصف من قبل سيلفستري سنة 1907 . أما رتبة السلبوجيات فقد أنشئت من قبل سيلفستري Silvestri سنة 1913 ؛ أما

الاشكال المجنحة فقد عرفت فقط سنة 1918 بفضل كوديل Caudell ، والذكور المجنحة رُصدت سنة 1926 من قبل كارني Kamy . وعرف ج . ك . كرامبتون رتبة الزعنفيات الظهرية (1915) لفصيلة دُرست سنة 1914 ؛ ودخلت في هذه الرتبة فصيلة ثانية اكتشفت سنة 1924 . سنة 1940 وضع أودهتر Odhner صفّ الرخويات أحادييات الصفيحة لمجموعة من الرخويات القديمة ؛ وأكد اكتشاف رخوية جديدة هي Neopilina Galathea (1952) استقلالية هذا الصف الذي يقدم بعض العلاقات مع الرخويات متعدّدات الصفائح والمستقلّ عن الرخويات معديّات الأرجل .

وهناك فرع جديد هو فرع حاملات اللحية وهو قد أنشئ سنة 1944 من قبل ف . ن . بيكليمتشيف . ويدل تاريخه على الصعوبات المعترضة في مثل هذه الحالات . فضلاً عن ذلك بقي موقع بعض المجموعات غير مؤكد .

إن التآلفات بين شائكات الرأس ، والقضيبيات وملوّعات الفك ما تزال غامضة وتغيّر موقعها في التصنيف العام حسب الصفات المدروسة . والنيمرتيات التي ألحقت طويلاً بفرع الشريطيات حصلت على ترقية ؛ ورغم أنّ تقاريرها ما يزال موضوع نقاش فالأفئاق شبه إجماعي لجعلها فرعاً معيّراً .

وهكذا ترتدي المنهجية ، وهو علم دائم التغير ، تقلبات وتغيرات دائماً ، ومع ذلك فإن الخطوط الكبرى للتصنيف الحالي أخذت تتوحد وتستقر . وما تزال هناك فروقات تفصيلية ولكنها تهم الاختصاصيين . هذا الاستقرار ، المدعوم بوقائع علمية مقررة ، يتيح تصورات شجرات انساب غير عشوائية .

شجرات الانساب - إن شجرة النسب هي تصوير يبرز العلاقات التسلسلية بين الحيوانات ، كما تظهر تواريخ ولادتها وترجم ، بالتأكيد حالة المعارف لحظة وضع هذه الشجرة . ونحن نترك جانباً شجرات الصفوف والفروع لتركز فقط على شجرة المملكة الحيوانية في مجملها . وهناك أربعة تصورات هي تصوراً . هينتز (1939) ، وتصور ل . كوينوه (1940 و 1951) ، وتصوراً . فاندل (1949) ، وتصور ب . ب . غراسي (1961) ، وهي تدل على مظهر عام متشابه : شكل Y ، شكل جذع شجرة ذي فرع وسط يتشعب إلى شعبتين متباعدتين ، وهناك توزيع التفرعات على الفرع بشكل متساوٍ ظاهراً . وهناك اختلافات ذات صفات متعارضة تبرز استقلالية فرعين متباعدين . والاشجار الأكثر حداثة تبدو أكمل وأتم .

ولرُحظت اختلافات خاصة في المواقع النسبية لبعض الصفوف أو الفصائل أو الرتب . ويأخذ تصوّر كوينوه في الاعتبار موضعين أساسيين الهواء والماء . وهذه الدقّة تزيد في مصاعب التحقيق ، ولكنها تبرز حداً مهماً هو أن طرفي الفروع الأبعد من جذع الشجرة تنتهي بتفرعات ذات تحرك حر ، فقريات ومفصليات أرجل عليا متكيفة مع الحياة الهوائية .

والمقارنة بين المنهجية الحيوانية في بداية القرن العشرين ومنهجية سنة 1960 أبرزت العديد من التصحيحات ، كما أبرزت تحولات عميقة ؛ والتصحيحات والتحويلات قدمت تحسينات

محسومة . لقد احتقرت المنهجية في الماضي ، وتركت طيلة فترة طويلة في القرن العشرين (حوالي السنوات 1930 وما يليها) ؛ هذا النقص في الاعمال الجيدة في مجال المنهجية كان له عواقب وخيمة نوعاً ما . وبصورة تدريجية تراجع الاحتقار أمام الضرورة . ولحسن الحظ تغيرت العقلية ؛ إن سيادة المنهجي القصير النظر قد زالت ؛ فبدلاً من علم التصنيف المبسط جاء تصنيف ذكي يركز على المظهر الجسدي ويعطي مكانة لعلم الوراثة .

III - الجدول البياني بالحيوانات

بخلال القرن العشرين اغتنى الجدول البياني الحيواني بشكل ضخم وتم اكتشاف أنواع جديدة تنتمي إلى غالبية المراتب كما تم وصفها . والكثير منها مرت غير منظورة بسبب ضآلتها وصغرها ؛ إلا أن وجود حيوانات ذات أحجام كبيرة كان أيضاً مهماً كما يدل ذلك بعض الاكتشافات الحديثة .

الفقرات - إن أحد الاحداث الأكثر إثارة كان اكتشاف سمكة متصالبة الزعانف اسمها شوكية الجوف (لاتيميريا شالومنا) ، وسميت هكذا من قبل ج . ل . ب . سميت . هذا العرق أو النوع هو من الأقدم منذ بداية العصر الديفوني ، واعتبر كبائد منذ الحقبة الطباشيرية . وهناك ممثل نمطي لهذه المجموعة ، اكتشف سنة 1938 على الشاطئ الشرقي لافريقيا الجنوبية قرب مصب نهر شالومنا الصغير ، وهناك نموذج آخر تم اسره سنة 1952 بجوار أرخبيل الكومور . والنموذجان كانا بحالة سيئة نوعاً ما . وعندها نظم بحث منهجي من قبل معهد البحوث العلمية في مدغشقر تساعده الادارة المحلية . أتاحت هذه الحملة ، بخلال ثلاث سنوات ، وبجوار جزر الكومور ، العثور على عشرة شوكيات الجوف جديدة بحالة جيدة . وشارك في دراستها التي تمت تحت اشراف ج . ميوه Millot اختصاصيون من بلاد متنوعة . هذه الأسماك ، وهي « متصالبة زعانف » طول الواحد منها 140 سنتم ووزنه 40 كلف ، تعيش فوق القاع في أعماق تتراوح بين 150 إلى 800 متر . وتشريحها وفيزيولوجيتها ذات فائدة عظيمة .

وتم اكتشاف الاوكابي وهي زرافية موجودة في معظم الحدائق الحيوانية ، في سنة 1900 تقريباً في غابات الكونغو .

اللافقرات - في سنة 1952 حصلت البعثة الدانماركية المسماة الغالاتيا ، في المحيط الباسيفيكي غرب كوستاريكا ، وبواسطة شبكة صيد جيبية مشدودة إلى القاع على عمق 3570 م ، على عشرة من النماذج النمطية لرخوية جديدة هي « نيوبلينا غالاتيا » .

وكانت العينات (بطول 37 ملم ويعرض 35 ملم) قد وصفت من قبل هـ . لمشي Lemche (1957) ؛ ثم قام لمشي وك . ج . ونغسترنند Wingstrand بوصفها ودراستها تشريحياً وبصورة مفصلة وذلك سنة 1959 . وهناك نوع جديد اسمه « نيوبيلينا اونجي » مختلف تماماً ، تم اكتشافه من قبل كلارك ومنزيس سنة 1959 في عرض البحر قرب البيرو . وتنتمي هذه الرخويات إلى صف أحادييات الصفيحة التي تتضمن عدة مراتب من الرخويات البائدة وخاصة رتبة التريبليديات المعروفة

خاصة في المعهد الكميري - السيلوري ، وتعتبر نيوبيلينا ممثلها الوحيد حالياً .

هناك اكتشاف آخر مشهود حصل في العقود الأخيرة هو اكتشاف حاملات اللحية وهي حيوانات بحرية طويلة طول الواحد منها يتراوح بين 5.5 إلى 30 ستم ، تعيش في أنابيب تفرزها بنفسها .

إن أول حامل لحية ، وصفه كوليري تحت اسم سيوغليوم وييري (1914) ، قد لُقط من قبل البعثة الهولندية ، بعثة سيوغا في عرض البحر قرب الارخبيل الماليزي . لم يتح حفظه السيء نحسه قحصاً عميقاً . إلا أن كوليري صفه سنة 1931 في ملحق ستوموكوردي . وهناك ممثل ثان اسمه « لامللي سايللا زاكسي » وقد اكتشف من قبل پ . اوشاكوف سنة 1932 الذي جعله من فصيلة الديدان الحلقية « بوليثيت » . وانطلاقاً من دراسات نسيجية دحض ك . أ . جوهانسون (1937) هذا التصنيف وجعل من هذا الحيوان نمط صف جديد هو صف حاملات اللحية . وأخيراً بينت أعمال ف . ن . بيكليمتشيف سنة 1944 ان حاملات اللحية تشكل فرعاً خاصاً يجاور الستوموكوردي .

هذه الحيوانات لم تشكل الممثلات الأخيرة لمجموعة كانت مزدهرة في الماضي . إنها في عظمها اشكال عتيقة وسحيقة جداً واكتشافها مرتبط بتقدم علم المحيطات . إن المحصول الذي توصلت إليه السفينة السوفياتية فيتياز يدل على أن حاملات اللحية تشكل عنصراً معيزاً في الحيوانات البتوسية (الأعماق) في بحار الشرق الأقصى وفي اغوار جزر كوريل واليابان . وبالمقابل انها نادرة جداً في مناطق محيطية أخرى . وفي الوقت الحاضر تم وصف 43 نوعاً وصفت ضمن أحد عشر صنفاً . والمتخصص الكبير في دراستها هو السوفياتي آ . ف . ايفانوف .

ومن بين الحشرات ، كان الفرع الثانوي ، فرع عديمات الأجنحة ، قد اعتبر معروفاً جزئياً في أواخر القرن التاسع عشر ؛ وتم اكتشاف العديد العديد من الانواع الجديدة بعد ذلك .

المتخصصون - إن بعض الباحثين قد ركزوا على الدراسة التصنيفية والبيئية ، في فصيلة ، أو ي رتبة أو في صف وأصبحوا متخصصين عارفين ، ذوي شهرة دولية ، تُسند إليهم عملية تحديد لانماط المعنور عليها في مختلف مناطق الكرة الأرضية .

ويستحيل علينا أن نذكرها هنا . ويتوافق مع هذا المنحى في الاعمال قيام دراسات واسعة حيوانية تغطي قضاة جغرافية متنوعة .

وإذا كانت المعرفة لمجموعة ما ، من قبل المتخصص بها ، تقدم متفعة وفائدة ، فإن التخصص المفرط ، لدى الشبان العلماء بالحيوان ، منذ بداية عمرهم أمر يؤسف له ؛ فهذا التخصص المفرط يؤدي في أغلب الاحيان إلى تناقص في ثقافتهم البيولوجية . فكل شيء غريب عن اختصاصهم ، لا قيمة له ، ويبقى عجهولاً ، وتفقد المسائل الكبرى التي يطرحها « الكائن الحي » كل اثاره بالنسبة إليهم . هذه الحالة الفكرية تبرز بحلة أكبر لدى المنهجي ، ولكنها تكتسح

أيضاً المجالات العلمية الأخرى .

الاحاث في اللاقريات - هناك أنواع من الأعمال المهمة تُعنى باللافقريات المتحجرة : وصف الأنواع الجديدة ، مراجعة وتحسين التشخيصات السابقة ، والدراسات الحيوانية المتخصصة . واكتشاف المكامن المتنوعة جغرافياً وطبقياً : (الديقونيان الاسكتلندي ، الفحميات في الصين ، الترياس الاوسترالي ، والاولي الشمال اميركي ، والبرمو-لياس الروسي السيبيري) يقدم مادة غنية . إن تحسين الاساليب (رقائق ناعمة ، استعمال أشعة ، الخ) يحسن دراسة أكثر دقة وفهماً أفضل للجسام .

إن الحيوانات الدنيا (المنخربات) ، والشعاعيات ظلت لفترة طويلة الحيوانات المتعددة الخلايا المتحجرة والمعروفة . ومنذ حوالي عشرين سنة أصبح من المعروف أن كل الوحيدات الخلية الحالية لها ما يمثلها من المتحجرات باستثناء البوغيات العطفلية تماماً .

إن المتخصص الكبير في الاحاث المتناهية الصغر وهو ج . ديفلندر ، يؤمن تحرير موسوعة احاثية . إن الدراسة الكيميائية المجهرية للمادة العضوية التي تشكل المتحجرات المجهرية ذات البنية المحفوظة ما تزال عملاً مأمولاً . إن حاملات المكورات الحجرية التي عُرفت من قبل لوهمان (1902) قد كانت موضوع العديد من الدراسات . والتصنيفات المتتالية للمنخربات قد نسقت ضمن نظام متماسك (دوفيلي Douville ، 1906 ؛ وكوشمان Cushman ، 1927-1948 ؛ وغاللووي Galloway ، 1933 ؛ وشابمان Chapman وبار Parr ، 1936 ؛ وغلاسنر Glaessner ، 1945) . إن خرافة الشعاعيات الرفيعة من العصر البريكميري في بريتاني الفرنسية قد زالت . وتحجر البروتوزوير يقدم نفسه مظهر سمة استمرارية تعطي بعض العناصر لمسألة التطور (ديفلاندر Deflandre ، 1950) .

في أواخر القرن التاسع عشر مرت بعض الاعمال المخصصة للبنيات الميكروسكوبية في العناصر الهيكلية من الصدفيات ، غير منظورة . في سنة 1936 بينت مس هيل Miss Hill أهمية هذه البحوث . وفي سنة 1950 وضع ونغ تصنيفاً يركز على الخصوصيات الملحوظة على هذا الشكل . إن الحزازيات ، الغزيرة جداً في مختلف الحقب الجيولوجية قد دُرست بشكل واسع وقيمتها الطبقة عرفت في الاراضي الثلاثية (كانو Canu ، 1904) القديمة (باسلر Bassler ، 1922) ، والديشونية (كازين Kaisin ، الخ ، 1944) ، وحديثة التكوين (ستاك Stach ، 1937) .

لقد خصصت نشرات كثيرة للرخويات المتحجرة . موسوعات وكتالوجات تيبل Thiele (1935) ، و . آيبل (1916) ، نايف Naef ، (1922) ، سباث Spath (1934-1951) الخ .

إن الفرع الضخم ، فرع مفصليات الارجل ممثل بشكل واسع خلال الحقب الجيولوجية ؛ ونسائه قد أثارت العديد من الاحياءات المفيدة (سنودغراس ، 1938 ؛ ستورمر ، 1944) .

إن مفصليات الأرجل القديمة التي ما تزال غير معروفة تماماً قد وُصفت من قبل والكوت منذ سنة 1911 ومن قبل هوتشنسون وستورمر سنة 1949 ، ويضاف إلى العمل الضخم الذي قام به والكوت حول ثلاثية الفصوص (تريلوبيت)، أعمال العديد من الاحاثيين امثال وسترغارد (1910-1953)، ولاك (37- 1907) ، الخ . وخصصت بعض الاعمال إلى الارثروبولوريد . واهتمت مجلدات ثلاثة من كسالوغ المتحجرات للقشريات : «كروستاسا ديكاپوردا» (غلامسر ، 1929) «كروستاسا أو مالاكوستراسا» (فون سترلن ، 1931) «كروستاسا فيلو كاريدا» (فون سترالن وشميتز ، 1934) . أما مزدوجات الأرجل (ديلوپود) متحجرة فقد درسها فيرهوف (سنة 1926) ، أما العنكبوتيات (آراكيد) المتحجرة فقد درسها بصورة رئيسية برونكفيتش . وفي سنة 1908 نشر هندليرش أول تركيب كبير منهجي ونسالي للحشرات . إن المجموعات قد أُنشئت إلى حد كبير ، والحشرات المتحجرة في أفريقيا وأميركا الجنوبية بقيت تقريباً غير معروفة . إن مساهمة كل من لامير (1935) ، وتيلارد ، ومارتينوف ، وكراسنر قد أعطت منحى تطورياً لعلم الحشرات الإحاثية .

IV - علم الفرطيسات (بروتستولوجيا)

بخلال القرن العشرين تابع علم البروتستولوجيا مساره . إن عدد الباحثين قد تزايد والاعمال كانت كثيرة بشكل خاص . وبالمقابل تحسنت التقنيات بشكل كبير .

اعتمد ب . كلين طريقة الاشرب الفضي وطبقها على وحيدات الخلية (بروتوزووبر) ، وأدخلت تحسينات من قبل ج . فون جبلي ، ثم من قبل شاتون ولزوف (اشرب بعد تغليف بالجيلاتين المملح) . وعرض سوينيرون طرق الزراعة وتوضيب المتطاولات (باراميسي) المستعملة في علم الوراثة وفي علم الوراثة المتعلق بالنواة . وجمعت المستندات الرئيسية المتعلقة بزراعة وتثبيت وتلوين وحيدات الخلية ، ضمن منشورات كيري (1950) وانريك وديلر (1950) ، ماير (1956) ، وكوزليس (1956) ؛ وهناك مجلدان أكثر قدماً يعالجان تغذية وحيدات الخلية (ساندون ، 1932) وتقنيات الزراعة (نيدهام ، 1937) .

وخصص العديد من المؤلفات العامة والدورية المتخصصة لدراسة وحيدات الخلية . ونذكر توضيحات كالكين (1901 ، 1926) ، تشين (1912) شونيتش (1927) ، كينو (1931 حتى سنة 1954) ، وجيروفش ومجموعته (1953) ، ومانويل (1961) وأول موسوعة حول البروتستولوجيا باللغة الروسية (ف . آ . دوجيل ، 1954) . وكرسست مجلدات كاملة لبيولوجيا نوع الباراميسيوم (ويشترمن ، 1953) والستاتور (1961) . وهناك مجلات دورية متخصصة أنشئت : واحدتها هي «ميكروسكوبيا» (1947) و«جورنال أوف بروتستولوجيا» (1954) . وأقيم أول مؤتمر دولي للبروتستولوجيا في براغ سنة 1961 .

علم التصنيف - هناك العديد من الانماط الجديدة قد تم اكتشافها ووصفها في بحوث متخصصة كان بعضها أساسياً مثل بحوث آ . كاهل حول الهدييات (سيليه) (1926-1935) . وهناك معرفة أفضل لمختلف الفئات المنهجية قد أتاحت فهماً أفضل للعلاقة النسالية وبالتالي قد

حسنّت وضع تصنيفات جديدة تأخذ في الاعتبار العلاقات السلاية .

جدد فوري فريميه Fauré- Fermiet تصنيف الهديات ، التصنيف شبه المستقر منذ أعمال قام بها ف . ستين (1854- 1867) . وقد حلل أيضاً دورات نموها ، وحركية تطورها وأواليات توالد الشكل وتكوّن الفم في حين أن كورليس (1952- 1960) اهتم بتطورها وتكوّن عرقها .

علم الانسجة وعلم الجنس - إن الدراسة النسيجية في البروتوزوير كانت موضوع أعمال متعددة . وتكمن الجدة الكبرى في اكتشاف البنيات العليا بفضل الميكروسكوب الالكتروني ، واهتمت هذه البحوث بشكل رئيسي بالفشاوة وبالحشوة البلاسمية وباطواقها (تحبيات الهيلي ، جهاز غولجي ، وبالبلاسما النشطة) .

ومنذ 1923 شبه دوبوسك Duboscq وغراسي الجهاز شبه القاعدي في السوطيات بجهاز غولجي ، في الخلايا الجنسية الذكورية في متعدّدات الخلايا (ميتازوير) . إن جهاز غولجي قد رُصد لدى وحيدات الخلية ، وبنيت قد توضحت (غراسي ، 1955- 1958) ؛ وأسلوب توالدها قد حلل منذ سنة 1935 (غراسي وفور) . إن نشاط البلاسما ، الذي اكتشفه ش . غارنيه سنة 1897 ، في خلايا غدية متنوعة ، قد رُصد لدى وحيدات الخلية المتنوعة ، ووجوده يبدو عاماً . وبين الميكروسكوب الالكتروني الوحدة البنيوية في الخلايا الحيوانية والنباتية . واعتبر بيكن (1960) التنظيم الخلوي من الزاوية الخلوية الكبرى . واستعرض غريمستون سنة 1961 استعراضاً نقدياً للبنيات الخارجية ، ولتولد الشكل . وأنماط انقسام الخلايا ومراحلها المتتالية قد دُرست بصورة رئيسية من قبل غراسي وآ . هولند .

وتناولت بحوث مهمة مسألة الجنس لدى وحيدات الخلية . ولعبت المدرسة الفرنسية وبمثلها بشكل ممتاز - ليجي ، و . دوبوسك وآ . شاتون ، الخ . دوراً مهماً في هذا المجهود .

إن الدورات التطورية لدى مختلف وحيدات الخلية قد كُشفت وحُللت . وأوضح دوبوسك وليجي دورات « الأغيريفاتا » (وهي بوغيات ذات تلقّيح مختلف) « والبوروسبورا » (وهي متجمعات ذات تلقّيح مختلف) . إن الدراسة المعمقة لمسألة الجنس عند المتجمعات ، قام بها كوينو Cuénot ودوبوسك . وقد اكتشف هذا الأخير الصفات الشكلية في التضج الجنسي ، ووضع بالتالي مفهوم الجنس بواسطة النواة البلاسمية ، وهو مفهوم وضّحه فيما بعد جوايا Joyet - لافرنّي Lavergne . واكتشف ليجي الزواج المتباين في المتجمعات ووصف التشكل الحقيقي في الغاميت الميكروسكوبية (ميكروغاميت) لدى الكوكسيدي . وبين وودروف أن الباراميسي تستمر وتبقى لا نهائياً دون تناسل جنسي (1911- 1921) . وكشف شاتون Chatton وزوجته أن اطلاق التناسل الجنسي يتحدد بعناصر البيئة أو الوسط التي تظهر في زراعة مكثفة تحت تأثير النقايعات بالذات . ومن المعلوم اليوم أن تحديد الجنس لدى وحيدات الخلية له مظهران ، أحدهما تحت تأثير العوامل الخارجية (نمط شاتون) ، في حين أن المظهر الآخر هو مشيحي خلوي (نمط موباس Maupas) .

إن البيوكيمياء والفيزيولوجيا في وحدات الخلية كانت موضوع أعمال مفيدة جداً .

إن العديد من مسائل البيولوجيا العامة قد درست : مثل الانحلال والموت ، تحديد الجنس ، ومشكلة النوع في الباراميسي ، ومسألة البعث أو الأحياء (ليكي ، 1896 ؛ مورغان ، 1901 ، الخ) والوراثة (جيننغز Jennings ، سونيورن Sonneborn ، نانني Nanney ، ديبيل Dippell) .

علم البيئة (إيكولوجيا) والعادات والسلوك (إيتولوجيا) - إن الإيكولوجيا في البروتوزوير قد درست جيداً ؛ وجماهير مختلف البيئات (أرض ، بحر ، ماء عذبة) ، والكيفيات الشكلانية التي تميز كل منها قد حلت من قبل العديد من الباحثين . ومنذ 1897 درس جينينغز ردود أفعال البروتوزوير تجاه مختلف الحوافز ؛ وتابع دراساته حول السلوك ؛ وفي سنة 1931 نشر توضيحاً لهذه المسألة . إن التوجه الكهربائي والتوجه الضوئي لدى الباراميسي والسنتور ، قد جربا من قبل فير Viard سنة 1956 ، ومن قبل توفرو Tuffereau ؛ وحلل سلوك أسرو هضم الضحية من قبل وود روف Woodruff وسبسر سنة 1929 ومن قبل هول Hull (1954-1961) .

التكافل بين السوطيات والعت - هذا التكافل له أهمية كبيرة ، فالسوطيات العتية والسوية تلعب دوراً رئيسياً في أغذية مضيفها الذي يكون نظامه الغذائي خشبياً ؛ فهي تهضم الخشب .

وقد حاول كليفلاند سنة 1923 ودويسك وغراسي وهولند وكيري وبيراتوني والعديد من الباحثين الآخرين حل المسألة المطروحة بفعل هذا التشارك الوثيق : ثبوتية الإصابة ونقل ودورة السوطيات المتكافلة ، وهضم الخشب ، وتوزيع وتطوير السوطيات العتية .

٧ - التطفل وعلم الطفيليات

إن النهضة الجميلة في القرن التاسع عشر قد استمرت ؛ والمكتسبات الجديدة متنوعة ومهمة . والتطفل ذو فائدة مزدوجة بفضل التشريعات التراجعية غالباً التي ينسب بها ويفضل التخریب الذي يحدثه في المضيف .

الوحدات الخلية (بروتوزوير) - إن البروتوزوير الطفيلية ذات حقل استقصائي واسع . فالعديد من الطفيليات الجديدة قد تم وصفه .

في سنة 1906 اكتشف شاتون البيريدينيات الأولى أو السوطيات الدوارة الطفيلية (من النوع بلا ستودينيوم) التي تمش في أعماق مجذافيات الأرجل المحيطية ، وحلل أسلوب نكارها . ودرس السندينيوم الموجودة في أحشاء مجذافيات الأرجل ، وفي دم السرطان وحتى في البيريدينيات نفسها . وفي هذه الأخيرة تتحكم الطفيلية فتفرض تفهقراً عميقاً قد يؤدي إلى زوال الشكل الخارجي في حين تبقى السمات النووية سليمة .

إن علم الطفيلية التجريبي اكتشف مضيفات وسيطة أو أوضح أساليب تفتيشها .

فالبرهان التجريبي على نقل الليشمانيا دو نوثاني التي تسبب المرض الاسود الذي يصيب

الطحال (كالاازار) من جراء الذباب الفاسد ، قد قُدم من قبل ناپيه وسميث وكريشمان سنة 1933 وجرب رويو Roubaud نقل الملائيا ؛ وقام الاخوان مرجنت ببحوث حول الاصابة الخفية بالملائيا . وأثبت شاتون دور الغشاء الغذائي في إصابة الحشرات بفعل التريبانوسوم وقد نشرت ايضا حات حول التريبانوسوم وحول التريبانوسوماز (لافيران Laveran ومينيل Mesnil 1912) ، وكذلك حول الليمفانويور (لافيران ، 1917) . وقام شاغاس Chagas وشاتون وكورسون Corson ولووف Lwoff وغيرهم بأعمال أكثر جدة حول التريبانوسوميد .

وانصرف العديد من البيولوجيين إلى دراسة البوغيات ، والمتجمعات ، والكرويات والبوغيات اللاسعة . وخارج الموسوعة الاساسية التي وضعها ف . دوفلين (1901) ؛ الطبعة السادسة ، 1949-1953 ، بقلم دوفلين وريشينو) هناك مؤلفات عامة لكوراسون (1943) ، ونيفرو-لومير (1952) ، وليشين (1961) ، وكلها قدمت تركيبات مفيدة حول الطفيلية في الحيوانات الأولية .

الحيوانات التوالي أو الميمازويور - هناك العديد من البحوث تناولت التطفل في الحيوانات التوالي ، فوصفت الطفيليات الجديدة ، أو أكملت التشخيصات السابقة ، وحلت أنماط الجنس ، ودورات التناسل وفيزيولوجيا اليساربع [الدودة قبل تكاملها] الحرة ، والطفيليات الراشدة وتغذية الطفيليات ، وحاجتها إلى الاوكسيجين ، وانتشارها ، والخصومية الطفيلية وتطور التطفل وشرط الولوج إلى المضيف ، والتلازم المتبادل بين الطفيلي والمضيف .

ويين كوليري مع مينيل أن الاورثونكتيد تظهر تناسلاً في التوالد ؛ ثم درس كوليري تجريبياً تناسلها الشقي . واهتم لامير وه . نوفيل بالدسيميد الطفيلية . إن الفروع الكبرى في البلاتلمنت والديدان الخيطية المتضمنة عدة طبقات مركبة فقط من الطفيليات ، قد شغلت العديد من الاختصاصيين . والتطفل عند القشريات والحشرات فيه تنوع كبير . ودورات تطور الحشرات آكلات الورق أوضحتها مارشال وبيكارد ، وبالاوشوسكي ، الخ .

إن الخصومية التطفلية ، وهي مفهوم معقد ، ترتدي مظاهر مختلفة جداً ، منذ الشروط القاسية جداً وصولاً إلى الهروية أو السقوطية القصوى . إن الصراع ضد الطفيليات الامراضية يرتدي أشكالاً متنوعة . ونصح رويو و . و . لوند بطريقة غذائية في المكافحة . وجمع مكتب علم الحشرات في الولايات المتحدة المستندات التي تناول الحشرات التي تقتات بالحشرات وقارن المعلومات حول طفيليات الحشرات المضرة من أجل تنظيم المكافحة البيولوجية . ونشر ك . ب . كلوزن كتاباً بعنوان آكلات الحشرات « انطوموفاجوس انسكت » (1940) . وابتداء من سنة 1939 ساعد اكتشاف المبيدات التركيبية مثل (د . د . ت . وه . ك . هـ . H. C. H. الخ) على مكافحة الحشرات .

أثر الطفيلي على المضيف - يُحدث الطفيلي آثاراً متنوعة على المضيف وخاصة في ايضه .

في النملة الاميركية أظهرت العاملات التي تطفلت عليها الزميس تضخماً هائلاً (ويهلر ، 1910) . وفي سنة 1910-1911 بين ج . سميث أن الساكولين يُحدث في السرطان الذي يتطفل

عليه ، مهما كان جنسه ، تغيراً في الايض تتميز به الاناث . إن هذه التغيرات تحدث انحصاراً طفيلياً بتقلص الغدد التناسلية ، واضعافاً مقارناً في السمات الجنسية الثانوية لدى الذكور ، باتجاه الجنس الانثوي (أعمال آ . جيارد ، 14 - 1911 ، ج . سميث ، أوكادا ومياشييتا ، 1935 ، ش . بيريز) .

والمسألة المهمة في التحصن ضد الاويضة الطفيلية درست من قبل الاميركيين : المناعة في الاويضة ضد التريبانوسوم وفي الملاريا (و . هـ . ول . تاليافرو ، 1925) ، المناعة ضد الملاريا وضد امراض النيماتود (و . هـ . تاليافرو ، وكانون ، وهوف ، وكارلس الخ) . إن المناعة المكتسبة قد حللت من قبل بلاك لوك وغوردون وميلر .

ونشرت مؤلفات مهمة تعالج التطفل عموماً أو بعض نواحيه ، من قبل باير سنة 1952 ، ومن قبل بلدنغ وفون برندت ، ويكارسكي ، وريد وكاميرون سنة 1956 ، وشاندلر وريد سنة 1961 ، وروجرز سنة 1962 .

المؤاكلة والتكافل - وهناك حالات جديدة بالمؤاكلة قد تم وصفها : باغور تجتمع مع الاكتيني ، والهيدريات ، وكثيرات الشعر ومجذافات ومزدوجات الأرجل ، والسرطين التي تحمل اكثينة في كل من ملاقطها ، ونملات وعت تعيش مع حشرات متنوعة وتعيش مع سينييد (ابريات) (بيكار) ، مركب اعتيادي من « الفاسكوليون سترومي » (بيريز Pérez) .

وقد لاحظت وقائع تكافلية أيضاً فيها .

وهناك بروتوزوير وبكتيريا تنغل في الانبوب الهضمي لدى بعض الحشرات أو اليرقات . في سنة 1948 أشار وفيلسورث إلى أن البقعة المسماة « رودنيوس » تستضيف في معها بكتيريا تكافلية تنتج فيتامينات ب ليست موجودة في الدم . وهناك حالة أخرى هي حالة السوطيات التي تعيش في معي العث . وتساهم النقايعات في كرش المجترات ، وفي المصران الأعور في الحصان ، وفي معدة القنادر « الهمستر » في هضم السللوز (هونغات Hungate) . ويحتوي كرش المجترات ، أيضاً على بكتيريا سلولوزية (ج . پوشون Pochon) . إن الاورام الفطرية لدى الحشرات لم تفسر إلا سنة 1910 ، من بيرانتوني ومن قبل سولك . إن تكافلاً بكتيريا ، لدى الحيوانات آكلات الدم يسهل هضم الالبومين (الزلال) والعناصر الرمزية المتكونة في الدم (رويود) . وسنداً لپيرانتوني (1928) تنتج الاضوائية الحيوانية (حشرات ، رخويات ، رأسيات الأرجل) من تكافل منتظم مع بكتيريا امراضية .

إن أحد البيولوجيين قد عكف بجد كبير على دراسة التكافل وهو ب . بوكتر Buchner ، كما نشر ، حول هذا الموضوع ، كتابين مهمين سنة 1930 و 1939 .

VI - علم الغدد الصماء لدى اللاقريات

إن هذه المسألة المعاصرة هي موضوع دراسات ناشطة ، كما يشهد بذلك اجتماعان دوليان مهمان حول علم الغدد الصماء لدى مفصليات الأرجل (1947) وعلم الغدد الصماء لدى اللاقريات .

إن الغدد الصماء - في الحشرات - قد اختلطت ، أول الامر ، مع تشكلات ودية في المنطقة الدماغية .

ومنذ سنة 1762 ، اشار ب . ليونيه Lyonet إلى زوجين من الغدد (زيبات) تقعان إلى جانبي البلعوم وراء التشكلات الدماغية . وأشار هيمونس (1897 - 1899) ، لدى العنصرية المسماة « قاسم » إلى البنية الخاصة ، في الزوج الثاني من الزيبات الذي سماه « كوربورا الأنا » . في سنة 1913 ، درس آ . نابرت Nabert هذه الأعضاء التي اعتبرها كغدد صماء ؛ وقد تأكد هذا الرأي بالأعمال اللاحقة (ب . دي لرمبا ، 1932 - 1937 ؛ و . بفلوغفلدر Pflugfelder ، 1936 - 1937 ؛ ن . هانستروم ، 1940 - 1942) .

إن دور الزوج الأول من « الزيبات الودية » ، التي قال بها ليونيه لم تعرف إلا فيها بعد ، وقد حاول دي لرمبا De Lerna أن يعطيها وظيفة صمائية . وحلل بفلوغفلدر بنيتها واجتاحتها وأطلق عليها اسم « كوربورا كاردريكا » . وعاود هانستروم دراستها واعتبرها كأعضاء فائزة للعصبية ، في حين قدم ب . كازال دراسة اجمالية للغدد الودية الدماغية لدى الحشرات .

منذ سنة 1931 تم التعرف على الافراز العصبي لدى اللاقريات .

اكتشف هانستروم في الذئب البصري لدى القشريات اللبائن الصدف خلايا عصبية ، تتسم شكلياً بسمات الخلايا الغددية . فسمّاها « العضو إيكس X » ، بعد أن قارن ملاحظاته مع ملاحظات أ . شاربر (1928 - 1930) ، حول الاسماك تحت العظميات . وقد وصفت الخلايا المفردة للعصبية ، في الرخويات المعدوية الأرجل من قبل ب . شاربر (1935) ، ولدى الحشرات من قبل وير Weyer (1935) . وتكاثر الأعمال ؛ وأدت توضيحات أ . وب . شاربر (1937 - 1953) إلى وضع بيان بالانجازات المكتسبة .

وأشير إلى الخلايا الفائزة للعصبية في مجموعات مختلفة : كثيرات شعر هائمة ومقيمة ؛ قليلة الحلقات (أوليغوشوت) ، علقيات (هيروديني) ، قضيبات ؛ حاملات الاظافر (اورنيكوفور) ، رخويات ، ومفصليات الارجل . وأوضح الفحوصات المعقمة ، في هذه الاخيرة ، العلاقات بين الخلايا التي تفرز العصية وبين الغدد الصماء . وقد تبين أيضاً أن الأعضاء الجبهوية لدى هديات الانداب (تيزانور) لها بنية ولها دور مماثلان .

وجاءت البحوث التجريبية تالية بعد الفحوصات الشكلانية ، والتشريحية ، والنسجية . وقد تم اكتشاف وظائف غددية صمائية لدى القشريات والحشرات . وهكذا تبين أن حتمية غددية صمائية تؤمن الانسلاخ في القشريات ذات الاصداف اللينة .

وعلى أثر ملاحظات ميغوسار Megusar (1912) ، المؤكدة لدى عشاريات الارجل ، من قبل مؤلفين كثر ، تم التعرف إلى مبدأ (افراز) كايح للانسلاخ (1939 - 1944) ؛ ومنطلق هذا العنصر هي غدة الجيب ، التي هي تشكيل غدي صماوي يقع في الذئب البصري . ولكن پاسانو بين (1915 - 1953) ان هذه الغدة تستخدم كخزان ، وإن المبدأ يفرزه فعلاً العضو إيكس (X) . في

بعض القشريات ، يبدو أن المزدوج العضو إيكس وغدة الجيب ، يعملان عملاً كائياً لنمو الغدة التي تنشط الذكورة . في سنة 1950-1953 ، أثبت غاب ، في مخيخ بعض القشريات ، وجود غدد صماء مزدوجة ، هي العضو (Y) أو غدة الانسلاخ .

ولدى الحشرات ، وقعت محاولات الالبات الاولى على بقعة ماصة للدم « رودينوس بوليوكوس » ، وقام بها الفيزيولوجي العظيم ف . ب . ويفلورث (1933-1939) ؛ وجرت تجارب دقيقة حول قطع الرأس ، وحول الاتحاد بين عضيتين (پارايوز) ، وحول التطعيم ، فكشفت عن أثر هورموني محفز يُطلق عملية الانسلاخ .

وجرت تجارب مشابهة حول الاتحاد الفيزيولوجي ، تناولت يرققات ؛ وقام بهاس . اوکسي (1944) ، وأثبتت صحة هذه الملاحظات . وبين جينجي واوکسي ، بواسطة رباطات في مواضع مختلفة من البرقة انطلاقة هورمونات التحول . وبالتجارب حول التحولية ، لدى السرقات (الشنيل) المسماة « بوميكس موري » (1936-1938) ، اكتشف ج . ج . بونهيول في « الكوربورا الأتا » ، هورموناً كائياً للانسلاخ الصوري [الذي يتناول المظهر] ، وأثبت ويد - پيفر (1936-1939) دور هذه الاعضاء في بلوغ بيوض الجراد . وأثبتت تجارب العديد من المؤلفين أثر افرازه « كوربورا الأتا » على تسريع التحول لدى البرقة والخادرة ، عند مختلف الحشرات ، وكذلك على الدورة الميضية لدى الاناث .

إن الدور الغدي الصماوي في الغدد ما وراء الدماغ - عند الحشرات - لا جدل فيه إذن . ويبدو أن النمو « بعد - الجنيني » لدى الحشرات تنظمه ثلاث غدد صماء :

- 1- الخلايا العصبية الفارزة في الدماغ تحفز الغدة في مقدمة الصدر .
- 2- هذه الغدة تفرز هرمون الانسلاخ أو « اكديسون » ، الذي توصل ب . كارلسون وآ . بوتينانت إلى عزله انطلاقاً من نضاريات [معمدات الاجنحة] بوميكس ، 1954 .
- 3- تفرز كوربورا الأتا هورمون الفتوة .

ويحضور هذين الهرمونين ، يكون الانسلاخ انسلاناً يسروعياً ؛ بنيا ب هورمون الشباب ، يكون الانسلاخ تصويرياً ويعطي أو يولد الناضجة (Image) .

وبخلال ثلاثين سنة تقريباً ، أتاحت مكتسبات علم الغدد ، في الحشرات ، وهو علم حديث جداً ، حلّ مشاكل معقدة تهّم الجنس والنمو . الكثير من المسائل يبقى محتاجاً إلى التوضيح ، إنما يجدر أن نشير إلى أن أي فرق أساسي لا يظهر في نماذج علم الغدد ، عند الفقريات واللافقريات ، وخاصة مفصليات الارجل .

إن « كوربورا كاردياكا » ، غدة الجيب والغدة البطنية ، في القشريات ، تذكر بالمركب « تحت المهادي - النخامي » لدى الفقريات . وكذلك ، عند الحشرات ، إن العلاقة « بين ثانيا الدماغ » و « كوربورا كاردياكا » مع تجول على طول الذئيب في السوائل المقررة ، توحى

بالعلاقات بين ما قبل الغدة النخامية - وغدة « تحت المهاد » . إن الدور الحافز الذي يلعبه هورمون الخلايا الفارزة للعصبيات ، في الدماغ ، يشبه دور الحافزات تحت المهادية . إن هذه المشابهات التي يجب أن تعتبر كظواهر تلاق قد وسَّعت من قبل هانستروم (Hanstrom 1941) ، ب وأ . شارير (Scharrer 1944) .

VII - مسألة الإنسال أو التوالد عند اللافقرات

في آخر القرن التاسع عشر ، كان العلماء يجهلون ما إذا كان الجماع يمثل ضرورة دورية ، وإذا كان التكاثر غير الجماعي المستمر إلى ما لا حدود له ، يتلاءم مع الحياة . والجواب اليوم حاصل بفضل مختلف التجارب ذات النتائج المتوافقة ، فمنذ سنة 1911 إلى سنة 1921 نجح وود روف في ادامة - بدون تزواج جنسي - متطاولات (پاراميسي) انشتت في زراعات معزولة . إن العالم الزوولوجي البلجيكي بْرِيْن Brien رأى هدرات ضمن شروط ملائمة فقط للبرعمة (ثبوتية الوسط ، استبعاد البقايا بالتنشيط أي تغيير مكان الشتلة) ؛ وتفصل البراعم عن الهدرة - الام ، وتوضع في زراعة معزولة ، فتصبح بدورها ارومة لسلمة من البراعم تزرع بدورها على حدة . ضمن هذه الشروط تبدو الهدرة وكأنها خالدة . وكذلك تمكن كوشالت - طيلة متين سنة - ان يطيل عن طريق اللاتزاوج عمر كثيرة شعر (بوليشت) ، ولكن الزراعة ضاعت عرضاً سنة 1942 .

إن التناسل التزاوجي ، لدى بعض المجموعات ، ليس ضرورة حياتية . إن دوام الانواع التي لا تقتضي ذكورا ، بل إنثاءً فقط تتوالد عذرياً (كالعصويات المسماة فاسم ، وبعض الدولاليات) يدل على أن الجنس (أي التزاوج الجنسي) ليس ضرورياً لحفظ الانواع .

1 - التناسل

تناولت أعمال عديدة التناسل الجنسي عند الفقريات . إن دراسة نوى الغاميت ، وصفاتها قد توضحت . إن نظرية الجماع الجنسي التي وضعها جوايه - لافريه ترتكز على الفروقات الفيزيائية الكيميائية الملاحظة بين الغاميت المذكرة والمؤنثة .

وانماط الاخصاب قد حُلَّت . واكتشف غاتني الاخصاب غير المباشر في الاسفنجيات . وأوضح توزت ودوريسك تفصيلاته وبدائله سنة 1931 . إن الاخصاب الجوفي الدعوي ليس نادراً لدى متغايرات الاجنحة . إن التفاعل القشري الاخصابي أو التنشيطي قد أشار العديد من البحوث في مختلف المجموعات : الشوكيات ، الرخويات ، الحلقيات ، الافعويات ، الشعريات ورفيات الارجل والقميصيات (أسيدي) .

السوما والجرمن - إن مفهوم ويسمان الذي يقرر وجود اقتراف مبكر بين السوما وبين الجرمن (خلايا الوارثة) ، قد ثبت بفضل الارصاد الخلوية الجارية على بيوض الاسكاريس ، والسيكلوس (ذات ارجل مجذافية) ، وعلى بعض الحشرات وكلها لها أصل برعمي . ولكن تجارب متنوعة تجديدية انبعاثية ، حول المجوفات وحول الحزازيات (بْرِن ومبوانوه)

والحلقيات والعفليات ، دلت أن سلسلة جنسية تتكون من جديد انطلاقاً من خلايا سوماتية (جسمانية) . فضلاً عن ذلك ، لم تتوافق الأعمال الجميلة التي قام بها برين حول هدرية المياه الحلوة ، مع وجود سلالة بزرية متميزة .

السمات الجنسية الثانوية - عند اللاقريات ، تكثر هذه السمات وتتنوع : فروقات في القامة (ذكور قزمة في الدواليبيات والقشريات) ، ملاقط ضخمة عند السرطانات الذكور ، اختلاف التلوين عند الفراشات ، تزيينات جلدية خارجية متنوعة لدى الحشرات ، اناث معطرات ، الخ . ولكن حتمية هذه السمات ما تزال غير واضحة تماماً . عند مفصليات الأرجل ، لم يقدم البرهان على تدنجل الهرمونات الجنسية .

إن استئصال الغدد الجنسية لدى اليرقات ولدى الراشدين من الجذاجد ، من السُرقات والفراشات ، لم يمنع نمو السمات الجنسية الثانوية . وبالمقابل بين هـ . شاونيو - كوتون (1952-1955) أن التفارق الجنسي في الذكور الوراثية - في بعض القشريات - ينتج عن افرازات الغدد المنشطة للذكورة المفصولة عن المنسل . إن هذه الغدد تمثل المثل الوحيد عن الغدد الصماء الجنسية الفردانية . وزرعها في انثى يثير ظهور سمات جنسية ذكورية .

وفي الحلقيات ، إن الحتميات الغددية الصماءية ، في النشاط التناسلي ، والتغيرات الجسمية ، ذات العلاقة بالتناسل ، ويتطور تفاعليات التجدد والانبيات قد درست بخلل العقد الأخير .

إن دماغ التيريديات يمارس أثراً رادعاً ضد النضج الجنسي وضد التحول (الدودي الحلقي) (ديفريتن ، دورشون ، هاونشيلد) . وفي قليات الشمر (اوليفوشيت) ، بدت النتائج الحاصلة مساعدة على وجود عوامل هورمونية ، في النظام العصبي ، ضرورة لتشكيل ولبقاء السمات الجنسية الثانوية ، ولعملية البيض (آفل ، هولنت - ميفيس ، هول) . وفي الدواليبيات ، تتعلق الظاهرات الجنسية بعمل الهرمونات ، التي تصنعها الخلايا الفارزة للعصبيات داخل العقد أو الزيبات الدماغية .

إن الغدد الصماء لا توجد إذاً كما في مفصليات الأرجل . ولكن في حتمية النشاط التناسلي تضيف بعض العوامل أثارها إلى أثر الهرمونات ، إن الدورانية الضوئية ، والتغذية تمارسان تأثيراً واضحاً في هذا المجال .

التوالد العذري - على أثر الاكتشاف الجميل الذي قام به الاميركي ج . لوب سنة 1899 (مجلد III) ، حصل ي . ديلاج ، بأساليب مختلفة ، على توالد عذري لحمة البحر ، ثم توالد التوتياء . ويلاحظ التوليد العذري للذكور فقط ، لدى النحلة ؛ إن البويضات المخصبة تتطور إلى أناث ، وغير المخصبة تصبح ذكوراً .

إن العمل الاساسي الذي قام به مفس Meves سنة 1907 حول توليد الغاميت الذكرية ، في النحلة ، بين أن التقسيم الأول للنوى المنوية تطريحي ، اسقاطي . إن التوليد المنوي الذكرى يتم

عندها بدون تنصف ، والمني الفردي يحتوي على العدد (N) من الصبغيات (كروموسوم) .

في سنة 1940 عرف فانديل Vandel توليداً عذرياً جغرافياً ؛ إن جنساً واحداً ، بحسب المناطق ، يضم اما أنثاً فقط ، أو الجنسين بنسبة متساوية تقريباً . ثم أن التوالد العذري يقترن في أغلب الاحيان بتعدد الصبغيات في النواة .

إن توليد الطفل أو التوليد العذري في حالة اليرقة ، المدروس في ذوات الجناحين ، منذ نهاية القرن التاسع عشر ، ما يزال يثير اهتمام الدارسين . ويتميز التوليد العذري الدوري بتناوب منتظم أو غير منتظم في التوليدات المزدوجة الجنس أو الوحيدة الجنس (اناث مولدات عذريات) ؛ وقامت بحوث تهتم ببحثه لدى بعض القشريات (مورتيمر ، 1937 ، دهن Dehn) ، عند الدواليات (لونتز Luntz ، 1926 ؛ طوسون Tauson ؛ بوكتر Buchner) .

إن التوليد الانثوي المبيض أو شبه الزوجي موجود عند الخسفيات ؛ وقد أوضح نيغون (1947) نماذجه .

ازدواجية الجنس ذاتياً - إن ازدواج القدرة الجنسية ، هو ظاهرة عند الحيوانات التوالي (ميتازوير) ، ويرز تماماً لدى مزدوجات الجنس ؛ فعندما يفصل الجنسان ، تتغلب إحدى القدرتين على الأخرى فتطلعها تماماً إلى حد ما . ومع ذلك توجد حالات وسط بين الجنسين كمفارقات أو استثناءات تسمى « الازدواج الذاتي » . وقد درست حالة البونيلي « افحوانية الذيل » والقنفذ البحري بشكل خاص .

ومنذ 1868 اكتشف آ . كوفاليفسكي عند « بونيليا فيريدس » تشكلاً جنسياً مزدوجاً بارزاً . إن الذكر النحيف أو الذكر القزم ، طوله 2 إلى 3 مم ، في حين يبلغ طول الانثى متراً . وتكوين الذكر بدائي ، باستثناء الجهاز العصبي والجهاز التناسلي اللذين يدوان جيداً . وتعيش الذكور طفيليات فوق جسم الانثى أو في جهازها المهبل .

إن يرقات البونيلي تنفتح في حالة جنسية عديمة الفرق ؛ وبالتحول ، قد تصبح ذكوراً أو اناثاً . واليرقة المعزولة ، تسقط إلى القاع وتحول إلى انثى . واليرقة التي تثبت فوق جسم انثى بالغة والتي تغذى من افرازات المهبل (الانبوب) طيلة 48 ساعة تصبح ذكراً قزماً (سبنجل Spengel ، 1879) . إن التجارب الجميلة التي اجراها ف . بالترز (1914 - 1926) تدل أن تطور اليرقة لتصبح ذكراً ، يبعثه هورمون مذكر موجود في افرازات الانبوب المهبل ؛ وقد أثبتت تجارب لاحقة تطوراً هذا العمل ، ولاحظ هيرست Herbst (1928 - 1940) أن تركيب الماء ، في البحر ، كمساعد تحليلي ، له دخل أيضاً .

ذكر بالترز أن الجنس القليل نسبياً ، من اليرقات ، لا يبدو أنه متعلق بهذا الاثر الهورموني ؛ ويمكن الانتراض ، في هذه الحالة ، إن الاوالية النوعية النمطية ، لتحديد الجنس ، تتدخل بقوة أكبر . إن ازدواجية الجنس لدى البونيلي تكشف عن الاثر الحاسم الذي تحدنه مواد معينة ، في حقبة مناسبة من النمو . ورأى هارتمان سنة 1943 إن كل اليرقات تتمتع بازدواجية في الطاقة

الجنسية ، ولادية نمطية ، معادلة « للهرمافروديسم » أو اللازدواجية الجنسية وإن تحديد الجنس ينتج عن أثر المكان أو المحيط .

ويلاحظ وجود حالات مشابهة نوعاً ما لدى الرخويات ، والحلقيات ، والقشريات والخيوطيات [الدودييات] . ويبدو أن تجارب ريفرييري Reverberi وبيتوستي Pittasti تدل في القشريات على أن الذكور المزمرة الطفيلية على الاناث تتمتع بجنسية تحدد بواسطة عوامل خارجية .

فإلى جانب هذه الجنسية الذاتية (الازدواجية) التي تسببها عوامل خارجية مباشرة إلى حد ما ، توجد لدى الحشرات ازدواجية ذاتية تحددها عوامل وراثية نمطية .

وكشفت بحوث ر . ب . غولدشميت ، المتابعة طيلة عشرين سنة وأكثر على ليمانتيريا ديسبار ، وهي قراشة متغايرة الذيل ، عن وجود ازدواجية جنسية تتحقق بفعل التلاقي . فاجراء تلامي منهجي ، بين اعراف اوربوا واليابان ، مكن غولدشميت من أن يلاحظ أن الازدواجية الذاتية تظهر في الجنس الذي ينتمي ، بعد اللقاء الأول ، إلى الجنسية الذاتية مع بنية هرمافروديتية في الفوناد أو المناسل (البزور المنوية) ، إلى أن يتم التحول كاملاً من الجنس الموروث إلى الجنس الآخر . إن الازدواجية الذاتية تتحقق بخلل مرحلتين : ينمو الفرد أولاً وفقاً لجنسه النمطي الموروث ، ثم بعد التحول أو الانقلاب الحاصل في الجنس ، يتكامل النمو وفقاً للجنس المعاكس . ويكون التحول أكثر زخماً ، بمقدار ما تكون لحظة التحول أبكر . وكل هذه الوقائع تتوافق مع اريالية هورمونية تتدخل باكراً في النمو .

وبعد دراسات جرت على قشرية الجناح ميكروبية من نوع « سولينويا » رأي ج . سلاتر ومعاونوه (1937 - 1949) بأن عوامل الوسط تتدخل في الازدواجية الجنسية الذاتية المحققة بالتلاقي . ولوحظ وجود حالات ازدواجية داخلية عند القمل (كيلين ، ونوتال Nuttal ، 1914 - 1918) ، وعند ذبابة مايو (م . ر . كوردنير ، 1931) وعند الدافني (بانتاور . دي لا فولكس ، 1921) وعند القشريات التي تحمل غدداً منشطة للذكورة .

الجيناندرومورفيسم - الجيناندرومورفيسم هو شكل خاص من الازدواج الجنسي الداخلي يبدو فيه الفرد كقيفاء من الاجزاء ، بعضها مظهره ذكوري ، وبعضها مظهره انثوي .

وقد أشير إلى بعض حالات الجيناندرومورفيسم لدى القشريات ، والعنكبوتيات ، ولكن الامثلة الأكثر عدداً تلاحظ لدى الحشرات ؛ إن النحلات الاولى الجامعة [اعضاء الذكورة والانوثة] التي قام بوصفها سيبولد Siebold سنة 1854 (المجلد III) ، قد أعيد فحصها سنة 1915 من قبل يوفيري . وقد نجح غولدشميت وكاتسوكي (1927) في استحداث الجيناندرومورفيسم بصورة منهجية عند دودة القز .

وطرحت عدة نظريات حول الجيناندرومورفيسم من قبل مورغان (1919) وبوفيري (1916) ودونكاستر (1915) وويتنغ (1927) .

التناسل غير الجنسي - باستثناء حالة الهدرة ، إن التناسل غير الجنسي مثير للاهتمام بشكل خاص عندما يظهر لدى ممثلي مجموعة ما حيث يكون التناسل الجنسي هو القاعدة .

ذلك هو حال « متحركات الهدب » والمثقبات والشريطيات والحلقيات والقشريات ، وجذريات الرأس . إن التناسل اللاجنسي لدى متحركات الهدب المكسوة ثلاثياً ، قد درس من قبل العديد من الزولوجيين ، منذ فاندل (1922) ، إلى داهم (1956-1958) . من بين متعددات الشعر (بوليشت) لوحظ التكاثر الانقصاصي في المشيج عند السربوليان [دودة بحرية تعيش ضمن انبوب كلسي] . وقد أحدث آلن (1927) وأوكادا (1929) انفصاماً تولدياً تجريبياً عند بعض الأنواع وذلك بإضافة ماء مقطر إلى ماء البحر ، حيث تعيش هذه الأنواع .

إن قليلات الشعر (أوليفوشيت) المستنقعية تتكاثر غالباً بالانقسام التوالدي . إن تشطرية الـ « أوسوماتيدي » (بويضات لا متناهية ذات محور) قد درست من قبل هـ . هولت - ميفيس (1950-1954) .

إن التعدد الجنيني أو انقسام الاجنة ، وهو تفاعلية تناسل غير جنسي قد درس من قبل مارشال (1904) ، عند بعض غشائيات الأجنة الطفيليات على اليساريع .

ويرتبط بالتناسل اللاجنسي القدرة على التجدد الظاهر بشكل خاص لدى المجوفات البطن والملق وقليلات الشعر . إن الجهاز العصبي يتحكم بإمكانات التجدد . والنتائج الحاصلة في هذا المجال عرضها آ . آ . نيدهام (1953) ود . آ . ستولت (1955) .

إن البحوث حول التناسل اللاجنسي في الاسفنجيات (تشكل البريم ، شروط التخدر أو السبوتية والبرعمة) قد تيسرت بفضل تقنية التربية في وسط مراقب (راسمونت) .

2 - علم الأجنة (امبريولوجيا)

إن علم الأجنة التجريبي الذي تعود بداياته إلى آخر القرن التاسع عشر ، قد ازدهر في القرن العشرين . راصح علماً قائماً بذاته ، له مجلاته الخاصة ؛ وأحدثها هي « نشرة الامبريولوجيا والمورفولوجيا التجريبية » التي أسست سنة 1953 .

إن بويضات بعض اللافقرات تشكل مادة ممتازة للدراسات الامبريولوجية الوصفية والسببية . إن البنية الدقيقة في بيضة توتياء البحر درسها رونستروم (1923-1928) ، وموني Monné (1944-1945) ، ومونروا (1947-1949) . ومنذ 1901 ، لاحظت . بوفيري تطور بيضة الأورسين « پاراستروتوس ليفدوس » ؛ وتخصصت المدرسة السويدية ، مع س . هورستادبوس في هذه الدراسة (1928-1953) .

ومنذ 1942 رصد الهولندي ك . رافن Raven ومساعدوه ، طيلة عملية البيض ، التحولات النواتية البلاسمية في بويضة الحلزونية ، التي تعرض تشققات حلزونية (سبيراليا) . ودرس شايلد (1900) تطور الأرنيكول ، ودرس كوكلين تطور الأسدي ، الخ . ودراسة ولادة فرد الامفيوكسوس

تتبعها ماك برايد (1900- 1909) ، وسرفونتين (1906) وكونكلين (1932) .

وتناولت دراسات نواتية كيميائية وفوتومترية الحوامض النووية والمعيّار من (A. D. N)
بخلال تطور بيضات التوتياء ، والاسكاريس ، الخ . وحقق مونرو تحليلات بيوكيميائية حول
المراحل الأولى من تولد الشكل عند التوتياء (1962) . وتعتبر مؤلفات أ . كورسلت وك . هيدر
(بينا 1902) وك . دوايدوف (باريس 1928) كلاسيكية .

إن الأعمال التجريبية حول تطور البيضات الفسيفسائية عُنت بمختلف أنواع اللافقرات .

والتجارب حول آسيدات شابري (1887) المؤكدة بأعمال كونكلين (1905) تدل على أن
مصدر كل قسيمة أصلية ثابت منذ بداية الانقسام ، وفي سنة 1904 أسس أ . آ . ويلسون على بيضة
دانثال فكرة الموضوعة البرعمية . وبين بينرس ، حول « التوفيكس » (1924- 1937) الصفة
الفسيفسائية للنمو من جهة أولى والقدرات المنظمة من جهة ثانية .

إن البيضات ذات الانضباط كانت أيضاً موضوع تجارب دقيقة . واعطى هـ . دريش
Driesch (1891) حول بيضة توتياء البحر تدليلاً تجريبياً على الانضباطية ، وهي تفاعلية بفضلها
يتفاعل النظام البرعمي المضطرب ، ليُتجه إلى تحقيق مجمل المظاهر التوليدية التشكلية الطبيعية
المميزة للنوع المعبر .

بين تيسيه (1931- 1934) إن البيضة والنطقة في الهيدرات تمتلك قدرة تنظيمية كبيرة تمتد
وتعمر حتى مرحلة الجذيرة أو البلامتولة والبلانولة . والتحليل التجريبي للانتظام في بويضة التوتياء
هو العمل الأساسي في المدرسة السويدية بإشراف رونستروم (1928- 1929) ، لندهال (1936) إلى
1953) ، وهورستاديوس Horstadius (1928- 1953) . ودرس أ . ل . ول . هـ . كولفين
(1950) هذه التفاعلية في دودة لسانية ، ودرسها ولسون (1893) وكونكلين (1933) في مدببات
الطرفين . والمفهومين ، مفهوم الفسيفساء ومفهوم الانتظام ، متكاملان .

بين 1932 و 1938 لاحظ آ . دالك Dalcq أنه في الاميذية أو الزقيات إذا عولجت البيضة في
وقت مبكر جداً فإنها تصبح مؤهلة للانتظام . والبيضة الفسيفسائية في الحلزونات هي كذلك ، كما
تدل عليه التجارب على بويضات التوفيكس (بينرس ، 1926) ، والعلاقة والحلقيات والنيمرتيات
(ياتسو Yatsu ، 1910 هورستاديوس ، 1937) ، والسلقيات (بوثيري 1899- 1910 ؛ وهوغ
(Hogue) .

وبين دوبرا Du Bois (1936- 1938) بأن بيضة السيليس وهي من عصبيات الجناح تمر
بمرحتين متاليتين : المرحلة الأولى لا يتحدد فيها الجنين ، ويتحدد في المرحلة الثانية . وفي
حال تطور الكائن الفرد يكون لمفهوم الزمن أهمية ؛ فالبرعم القتي يتمي إلى النمط المنتظم ، فإذا
تقدم في السن أصبح من النمط الفسيفسائي . والفرق بين البيضات الفسيفسائية والبيضات المنتظمة
ليس بالتالي أسامياً .

وبين بوثيري أن بويضة الاسكاريس تتمتع ببنية تدريجية تتراوح من قطب إلى آخر . إن هذا

التنظيم يرتدي أهمية كبرى مع أعمال هورستاديوس الذي عزل في بيضة التوتياء مناطق حيوانية ومناطق إنباتية . إن عوامل التنظيم التي تميز النصف الحيواني توزع بنسبة الزخم حول مركز يتوافق مع القطب الحيواني .

إن نظرية النسب الفيزيولوجية التي وضعها ك . م . شابلد (1915) تتركز على تحليلات الانبعاث لدى اللاقريات الدنيا . وتعميقاً فقد طبقت في مجال تخلق الجنين .

إن النسب تدل على النشاط التشكلي ضمن أرض معينة . إن منطقة القطب الحيواني في بويضة التوتياء تحتوي على مركز النشاطات التشكلية والفيزيولوجية القصوى ؛ وانطلاقاً من هذا المركز نحو الحقل الإنبائي . فضاء النشاطات إلى أن تأتي اللحظة التي تتوازي فيها نشاطات المنطقتين .

ويخلال تكون الفرد تكتسب المناطق المختلفة تحديداتها ؛ وتحقق الحالة الفسيفسائية بصورة تدريجية ؛ وتتحدد كل أرض ولا تستطيع إلا القيام بتفارق ذاتي خاص .

وقد تم إثبات تفاعليات الحث ، التي درست بصورة رئيسية لدى القواذب أي البرمائيات ، ولدى الزقيات أو الاسيديات وفي الشوكيات وفي الحشرات (وهذه الأخيرة تمتلك مركزاً يولد الاختلافات ، أو مجعماً هو مركز مكون ومركز مفرق) .

VIII - علم البيئة أو الايكولوجيا

إن مفهوم الايكولوجيا ، منذ وضع الكلمة من قبل هايكل Haeckel سنة 1866 ، قد أثار الكثير من النقاش ؛ في سنة 1949 بين جيزين Gisin كل المصاعب .

فقد كان من المقبول ان الايكولوجيا تدرس العلاقات بين الحيوانات وبيئاتها ، وفي سنة 1931 ميز شابمان الايكولوجيا الذاتية أو علم بيئة الفرد عن الايكولوجيا الجماعية أو علم بيئة المجتمعات والاجهزة . وسلوك وتصرف الحيوانات في اوساطها تدخل في ما يسمى بعلم الايتولوجيا أو السلوكيات في حين أن الدراسة في المختبر لردود الافعال تجاه مختلف ظروف المحل تدخل في مجال الفيزيولوجيا .

وحتى حوالي سنة 1921 جمعت الايكولوجيا أو علم البيئة وخاصة التحليلية منها الاعمال التي اجريت شبه عفوية بدون هدف محدد . فتم تسجيل ردود الافعال الفيزيولوجية لدى الحيوانات تجاه مختلف عوامل الوسط . وتمت الإشارة إلى حدود اثر هذه العوامل مع ظروف الحياة (أقمس 1913 ، شلفورد ، سيتون ، ريغهارد Reighard ، اندروس ، الخ) .

ويجري الكلام أيضاً في بعض الاحيان عن بيوجيوغرافيا أو الجغرافيا وعلم الاحياء البيئي ، أو ايكولوجيا التوزع الجغرافي ، وهو توجه ساد في الحقبة بين 1912 و 1930 . والكتاب الأكثر أهمية في هذه الحقبة هو « التيرجيوغرافيا أو ايكولوجيا غرابيلج » (1924) الذي وضعه ر . هس Hesse حيث ينظر إلى الجغرافيا الحيوانية من منظور جديد ، فتطبق الطرق الايكولوجية في دراسة

توزع الحيوانات . وهناك كتابان أحدهما لـ Willis (1922) والآخر لبوكنر (1930) يجب ذكرهما أيضاً .

وهناك كتابان آخران عنوانهما الايكولوجيا الحيوانية ، مفيدان بشكل خاص . أحدهما كتاب بيرس Pears (1926) ، تحليلي ، والآخر لـ Elton (1927) ويمثل المحاولة الأولى لتوحيد الايكولوجيا . وهو يعتبر أن غرض هذا العلم هو التحديد النوعي والكمي للسكان أي دراسة الجماهير في مختلف المساحات البيئية ، وتوازنها وتنوعها داخل الظروف الطبيعية .

وبعد ذلك أخذت الايكولوجيا تنتظم . وأخذت مبادئها تستقر تدريجياً وتتماسك . وصدرت نشرات دورية متخصصة منها (مجلة الايكولوجيا ، 1913 ؛ الايكولوجيا ، الدراسات الايكولوجية المتخصصة بالانكليزية ، 1931 ؛ مجلة ايكولوجيا الحيوان ، 1932) . وفي أوكسفورد اشرف ايلتون على مكتب « المجتمعات الحيوانية » (1932) . وحرر كليمنتس وشفورد كتاباً بعنوان « بيولوجيا ايكولوجيا » (1939) وفيه يلتفتان إلى تعايش النباتات والحيوانات .

المشاهير - في حالات نادرة من الممكن اجراء تجربة طبيعية . لقد دمر انفجار بركان كراكاتوا Karakatoa سنة 1883 كل حياة نباتية وحيوانية ؛ وبصورة تدريجية عادت الأنواع إلى الوجود ؛ ووصف دانيمان صورة وشروط إعادة التأهيل بخلال خمسين سنة (1948) . ويمثل إعمال المناطق الخالية التي ابتكرها الإنسان (بحيرات اصطناعية ، قال كاين Caen إلى البحر ، الخ .) تجربة أخرى غنية بالمعلومات .

يقتضي علم البيئة جهازاً أدواتياً خاصاً كفيلاً بقياس سمات الوسط ، أو بصورة أدق الأوساط الصغرية ، لا سيما المناخات الصغرية (جيجر ، 1950) : قياس الرطوبة ، الترسبات ، الهواء ، تركيب الماء أو الهواء ، التبخر ، الخ . واقتضى أخذ عينات من الأرض (فرانز ، 1950) ، في الطبقة المعشبية ، الخ . تقنيات واجهزة خاصة تتلاءم مع شروط البيئة : مثل مختار آدم ، اشراك من انماط متنوعة ، وطعموم . إن تقنيات التعداد أو الموسم قد استخدمت إلى حد كبير .

إن تعداد الحشرات ووسمها اتاح تقدير معدل الوفاة أو الهجرة . وابتكر ج . ج . بيترسن Petersen طريقة لتعداد ووسم الاسماك من أجل تتبع مساراتها وهجراتها . أما المعارف حول الطيور فقد انجزها الدانماركي مورتسن سنة 1899 . وسريعاً ما تبوأ المانيا الطليعة بعد أن أنشأت مركز في روستن منذ سنة 1901 . وهذا المتاع العلمي يطبق اليوم في كل أوروبا . في بريطانيا هناك حوالي 20 محطة ذات علاقة مع البريش - ميوزيوم . وفي فرنسا انشئ مرفق مركزي للبحوث حول هجرة الثدييات والطيور في الميوزيوم الوطني للتاريخ الطبيعي سنة 1930 . وبدأ الاهتمام العلمي في الولايات المتحدة حوالي سنة 1920 وفي الاتحاد السوفياتي سنة 1924 .

ومنذ سنة 1923 اعطت تقنية المعرفة حول الحيتان تشايج مرضية . ومن سنة 1934 إلى سنة 1938 أمكن وسم حوالي خمسة آلاف حوت في القطب الجنوبي ، وفي سنة 1953 تم العثور على 317 حوتاً مرقماً . وجمعت المعلومات الحاصلة في انكلترا في المعهد الوطني لعلم المحيطات .

اليوم تريا أو حساب ديمومة الحياة البشرية - إن التقدير الاحصائي للجماعات وتنوعاتها تقتضي

ايجاد علم جديد هو علم البيومتريا الذي كان تطوره ضخماً بخلال السنوات الاخيرة .

في القرن التاسع عشر كان الطليعي في مجال البيومتريا هو أ . كيتليت Quetelet الذي افتتح اسلوب متعدّدات الاضلاع التواترية . ثم قام ف . غالتون وتلميذه بيرسون بوضع مفهوم الترابط ودرسا العبارة الرياضية حول التغير التآرجحي الذي وضعه داروين . وحلل جوهانسن التغير الفردي في الفاصوليا . وقام البيولوجي الرياضي ر . آ . فيشر بتنشيط التحليل البيومتري في مختلف جوانب الظاهرات الحياتية . واصبحت بعض أعمال الرياضيين كلاسيكية : مثال ذلك ر . بيرل (معدل الحياة 1928 ؛ بيولوجيا النمو السكاني ، 1925 ؛ بيولوجيا الموت ، 1922) ، لوكتا (عناصر البيولوجيا الفيزيائية ، 1925) . وبواسطة المجموعات التجريبية في ذبابة الخل التي تسمى الهمجة ، وضع ثرلوس وبيزل منحني النمو اللوجستي (التمويني) وحاول فولتيرا إجراء تحليل رياضي لموامل الوفاة ، وقد طور هذا التحليل فيما بعد على يد نيكولسون وبايلي .

وقد اثرت البيومتريا كثيراً على علم البيئة ، ولم يعد بإمكان الايكولوجي تجاهل البيومتريا . وأيضاً يتوجب على المتخصصين أن يقوموا بجهد كافٍ في العرض حتى يمكن فهم طرقهم بسهولة من أجل استعمالها . والتحليل الرياضي سهل نسبياً في دراسة الجماعات المستحدثة في المختبر أو ما يسمى « بايكولوجيا المرطبان » : وهي أعمال المدرسة الاميركية حول حشرات الحبوب (ليسلي وبارك ، سنة 1949 ؛ واتس ، 1955 ؛ اوتيدا ، 1956) . وإذا كانت بعض النتائج الحاصلة على هذا الشكل صالحة ، فلان تطبيق الرياضيات على ايكولوجيا التربة قد اثار انتقادات حادة (بونديمر ، 1952 ؛ اوليت ، 1953) . ودراسة جماعات الحشرات في بعض الاوساط الطبيعية مثل : الغابات العذراء والادغال والسهوب هي شبه مستحيلة : ومن الافضل أخذ أماكن طبيعية محصورة أكثر واقل تعقيداً .

وقد درست مثلاً ايكولوجيا التربة (فرانز ، 1950 نيشلر 1955) ، كما درست ايكولوجيا الاشجار (ليبوانت ، 1957) وايكولوجيا الحقل المزروع بعد البذار والحصاد أو القطف (نيشلر ، شوفين) ، دون اهمال سكن التخوم ، والفوارق الحيوانية بين القاعدة وذروة الجذوع ، وعلق البحر الهوائي ، والحيوانات الليلية والتطور الحيواني السنوي مع أنواع الربيع والصيف والخريف وكذلك الانواع الدائمة .

إن الدراسات الايكولوجية (المتعلقة بعلم البيئة) التي تتناول الحيوانات البحرية والعلفية والبحيرانية والمتكيفة ، كانت هي أيضاً موضوع اعمال مهمة .

نهضة علم المحيطات البيولوجي - إن دراسة الحيوانات البحرية المزدهرة في القرن التاسع عشر قد تكثفت في القرن العشرين وارتدت مظهراً جديداً . فالبعثات الجارية بواسطة سفن منفردة زالت تدريجياً أمام الحملات الكبرى الدولية ، في حين أدى التقدم التقني إلى تحولات عميقة وساعد على انجازات كانت حتى ذلك الحين غير واردة .

وتكاثرت المختبرات البحرية التي انشئت في القرن التاسع عشر ، عبر العالم ؛ فمن سنة 1920 حتى 1930 تم تجهيز أكثر من سبعين مختبراً جديداً وأكثرها نشاطاً أصدرت مجلة دورية تنشر الأعمال التي تقوم بها .

إن السفن المحيطية تابعت دوراتها . وفيما بين الحربين ، قامت مينور (المانيا) ، وميركاتور (بلجيكا) ، وديسكوفري I وII باستكشاف الأطلسي ؛ وتحولت ويلبرود سنيلوس (البلدان المنخفضة) في أرخبيل لاسوند ، وقامت دانا I (دانمارك) برحلة حول العالم . تذكر أن السفينة الفرنسية « بوركووبا » ؟ (قبطان شاركوه) غرقت سنة 1936 مع كل طاقمها تقريباً .

منذ 1945 ، امتلكت الدول البحرية الكبرى اسطولاً أوقيانياً تتفاوت درجة غناه . فالتروج كان لها بها ارمور ، وهانسن ، ويراتغ ، والسويد كان لها الشراعية الباتروس ، وني سكاجيرك والدانمارك كان لها ثور Thor ، ودانا I ، ودانا II ، ولكن الولايات المتحدة والاتحاد السوفياتي ، وانكلترا واليابان كانت الأكثر غنىً بالأبنية المحيطية .

وامتلكت الولايات المتحدة عدداً كبيراً من المختبرات البحرية والسفن البحوثية ، فقامت منذ سنة 1960 ببذل جهد جديد ومهم في مجال التجهيز مما مكنتها من الاحتفاظ بتقدمها . وهذا التفوق ينافسها فيه في الوقت الحاضر النمو السريع في الاسطول المحيطي للاتحاد السوفياتي ، المزود بعشر من السفن الحديثة الجديدة التجهيز : فيتيار ، لومونوسوف ، ايكافاتور ، اوب ، الخ . التي تتجاوز بعضها ستة الاف طن . قامت هذه العمارات بحملة واسعة استكشافية ، خاصة في السنة الجيوفيزيائية الدولية (1957-1958) ، والنتائج الحاصلة بفضل فيتيار ، في الباسفيك ، منذ 1949 ، مهمة للغاية . واليابان بحكم أنها المنتج الاول العالمي لسلع البحر ، اهتمت أيضاً بالتطبيقات العملية ، وبتطور صناعات الصيد كما اهتمت بالبحث النظري ، وذلك بالمساهمة الناشطة باستكشاف المحيط الباسفيكي والبحار المجاورة . وبريطانيا ، باسطولها المحيطي المؤلف من ثلاث عشرة وحدة ، تابعت عمل الاستكشاف الجيولوجي الذي افتتحته بإشراف في القرن الماضي ، ومن بين العمارات الخمس الفرنسية المجهزة من أجل البحث المحيطي ، قامت أشهرها ، كاليسر ، المزودة بمعدات تقنية أصلية ، ومنذ 1951 ، وتحت امرة الريان كوستو Cousteau ، بجولات في المتوسط وفي البحر الاحمر ، ويمتلك المعهد العلمي والتقني للصيد ، أيضاً ، سفينة صممت لدراسة الاسماك المهاجرة .

وبلغت الاستكشافات ، حتى سنة 1940 ، في اقصاها 6000 م عمقاً ، وفي سنة 1910 ، حقق امير موناكو على اليخت الاميرة - أليس ضربة شبكة جيبيية بعمق 6035 م . وفي سنة 1947 ، حققت السفينة الباتروس (السويد) ، بخلال رحلة دامت 15 شهراً ، في المحيطات الأطلسي والباسفيكي والهندي ، محاصيل من اعماق تبلغ 7900 م ؛ ثم في الفترة 1950-1952 ، قامت السفينة غالاتيا (الدانمارك) بنشر اشباك على اعماق تتراوح بين 9800 و 10200 ، قامت في غور الفيليبين ؛ وأخيراً تم اكتشاف اغوار الباسفيك (غور ماريان) منذ 1953 من قبل فيتيار (الاتحاد السوفياتي) وكان العمق الأقصى الذي بلغته هو 11034 م .

إن السفن الأوقيانية العلمية الحديثة تمتلك أجهزة أكثر ملاءمة لانجاز العمل . إن الملفات القوية ، المزودة بكابلات (خطوط - اسلاك) طويلة من المواد البلاستيكية (اللدائن) يعادل ثقلها النوعي ثقل الماء ، هي ذات تداول اسهل . والمسابر ذات المعايير فوق الصوتية ، أو (واش:

الصدى تسجل بصورة تلقائية العمق العامودي ، بين السفينة وطبيعة القاع . وتتيح مسابر التربة تحديد تنابع الترسبات البحرية ؛ وأول هذه الأجهزة ، وكان بدائياً جداً ، انشئ في الولايات المتحدة سنة 1935 . إن مسبار كولتبرغ ، المستعمل في الوقت الحاضر ، يسقط سقوطاً حراً ، ابتداء من عمق ما ، ويدخل في الرسوبيات ، في حين تقوم دافعة (يستون) بإحداث الفراغ . وهو يتيح الحصول على عينات ترابية من حوالي عشرين متراً . إن أجهزة الالتقاط والقياس قد تحسنت أيضاً بشكل ضخم . وتم تجديد تقنية التصوير بفضل ما حققه الريان كوستو ، من كاميرا خاصة متزامنة مع فلاش الكتروني ، من أجل التقاط صور تحت البحار .

الامتشاف تحت البحار - في القرن العشرين ، فتحت ثورة كبيرة حقاً عصر استشفاف الأعماق البحرية ، رغم أن محاولات غطس تحت البحر قد جربت منذ القرن السابع عشر .

إن مختلف الآلات الغاطسة ترد إلى نمطين أساسيين : إما الآلات التي تنسك الضغط الخارجي يضغط على جسم الغاطس ، وأما أن يبقى الغاطس ، محبوساً في مقصورة عازلة ، وخاضعاً للضغط الجوي . إن قميص الغطس المستقل ينتمي إلى النمط الأول .

وبعد عدة محاولات ، حسن الفرنسيان روكيرول ودانيروز صدفية الغطس المستقلة التي صممها كاييرول (1839) ، باستعمال محدد يؤمن توزيع الهواء المضغوط بضغط العمق الذي حققه الغاطس . ولكن القميص الغطسي الحقيقي المستقل صممه لوهرير سنة 1926 ثم حسنه سنة 1943 ي . كوستو . غانيان ؛ إن المخفض اوتوماتيكي ، وقينة الهواء المضغوط تكون على ظهر الغاطس . والأجهزة التنفسية تعمل الآن بشكل حلقة مغلقة . والماسك (الكامنة) ، والمسايح (السعف الدافعة) والقمصان العازلة تكمل التجهيز .

ويفضل قميص الغطس المستقل ، شُرع في استشفاف الاعمال الساحلية من قبل العالم الحيواني الفرنسي ب . دراك Drach حوالي سنة 1946 ، وقد تطورت البحوث بشكل خاص في المتوسط وفي البحار الاستوائية . واستشفاف المغاور تحت البحار ، وتفحص الحيوانات في الصخور الحشفية المرجانية ، وعلى العموم دراسة حيوانات ونباتات قيعان البحار الشاطئية حتى عمق ستين متراً كان ممكناً بهذه الوسيلة .

إن استشفاف الأعماق الكبرى لم يكن ممكناً إلا بمعدات من النمط الثاني ، بسبب الخطر الذي تحدثه الضغوطات الكبرى . وهناك ثلاثة أسماء تذكر هنا : الأميركيان وليم بيبى Beebe ، وأوتيس بارتون Barton واسم السويسري اوغست بيكار الذي صمم غواصة الأعماق .

وفي سنة 1930 ، نفذ بيبى أول غطسة بواسطة كرة الأعماق ، على عمق 240 م ؛ في سنة 1948 ، بلغ 1360 م . وفي حين تشكو كرة الأعماق من أنها تعلق بسلك ، فإن حجرة الأعماق هي بالون اعماقي تشكل حجراته العازلة كرة من فولاذ تستطيع حمل ضغط هائل . والعامل الداعم والموازن هو سائل خاص . وبسبب الصعوبات التقنية ، لم تكن التجربة الأولى التي حققها بيكار سنة 1946 بواسطة « فرنس » (F.N.R.S) الثانية ، إلا نصف نجاح . ووضع مهندسو قسم الهندسة

(الجيني) البحريون الغواصة فئرس الثالثة ، وهي غواصة صغيرة للاعماق الكبرى واول حجرة للاعماق صالحة للاستخدام . وحقق الريان هروث والمهندس ويلم ، في 16 شباط 1954 غطسة بعمق 4050 م قرب ساحل دكار . وتلتها مائة من الغطسات في المتوسط ، والاطلسي والباسيفيكي ، ساهم فيها علماء طبيعيون متنوعون . واستخدمت السفينة تريست ، وهي غرفة صممها آ . بيكار ، من قبل البحرية الاميركية . وفي 22 كانون الثاني سنة 1960 ، بلغت عمقاً يزيد على احد عشر ألف متر في اغوار جزر ماريان . وهناك غرفة للغطس فرنسية جديدة ، ارشيميد (ارخميدس) صممت لتبلغ اعماقاً مماثلة ، وقد قامت بمهام بحوث على عمق 9500 م سنة 1962 . وهناك مشاريع قيد الدرس ، وخاصة مشروع غرفة غطس متوسطة من الالومنيوم ، لعمق يبلغ 4000 م كما هناك مشروع غاطسة نووية .

وافتح كتاب ج . موراي Murray وج . هجورت Hjort « أعماق المحيط » (1912) علم المحيطات الحديث . وبعد ذلك درست الشروط الفيزيائية والكيميائية للمحيطات ، عبر الاستكشافات المتنوعة . ووضعت خارطات لاعماق المحيطات ؛ إن طبوغرافيا الاعماق قد بدأت . ودرجة الحرارة والملوحة في المياه قد سجلت . وكانت النتائج البيولوجية أكثر غنى .

ومنذ 1911 نشر ج . ج . ج . پترسن مع ب . ب . جنسن دراسة مهمة متخصصة حول حيوانات عمق المحيط . واهتمت البحوث اللاحقة بمجمل الاحياء البحرية (بالمظاهر ، وبالكثافة ، وبالترتيب) ، وجماعات طبقات الأعماق ، والأغوار والأخاديد ، وتوزيع الحيوانات المحيطية ، بحسب العمق ، ووفرة الحيوانات المحيطية واتقاعية ، ويوصف الانواع والعائلات الجديدة ، وسلوك الحيوانات .

وكانت دراسة الحيوان الاغوازي ، الحديثة نسبياً ، موضوع العديد من المداخلات في المؤتمر الدولي الاول حول علم المحيطات (نيويورك 1959) . فقد شاخت نهائياً الفكرة القديمة القائلة ببحر لا حيوان فيه ؛ فالاعماق كلها حتى حدود احدى عشر ألف متر تاري حيوانات كثيرة بصورة غنية وخاصة .

وبواسطة صدرية الغطس المستقلة ، أصبح الاستكشاف البحري ممكناً حتى حدود ستين متراً . ولما كانت غرفة الاعماق قلماً استعملت إلا انطلاقاً من ألف متر ، فإن المنطقة الوسيطة بقيت بدون استكشاف . وجاء « الصحن الغاطس » ذو الدفع الفثا ، كما تصوره ي . كوستو ، وهو المحقق الكبير في مجال المحيطات الادواتي الحديث ، ليسد الفراغ جزئياً حين الرصد حتى حدود 400 م .

وهكذا تورت صدرية الغطس المستقلة ، والصحن الغاطس ، وغرفة الأعماق ، علم المحيطات الحديث . ولكن من الممكن أن يعرف المستقبل انجازات أكثر جرأة أيضاً .

اعلاق البحر - هذه الكلمة علق (جمع اعلاق) (Plancton) ابتكرها الالماني هنسن Hensen سنة 1887 ليدل بها على كل الأجسام الحية التي لا تستطيع مقاومة تيار بحري وتعجز عن

القيام بحركة موجّهة لامتدّ طويل . وقد اتاحت محاصيل كثيرة دراسة حيوانات ونباتات وبكتيريا موجودة فيها . ولكن البحوث اتجهت أيضاً إلى فحص كمي يوضح العلاقات بين المجموع الاحيائي وبين البيئ أو الوسط .

وذكر ج. پروفو Pruvot الفقر الحيواني ، الذي يصيب مياه البحر المتوسط . وأكد جاسپرسن Jaspersen سنة 1932 هذه الملاحظة ، وقرر وجود علاقة بين الثروة الحيوانية في المياه البحرية ونسبة الترات والفرسفات فيها ، علاقة تأكدت من قبل ج . شميدت (1928-1930) . وبتحسين التقنيات ، تم أخذ مقطوعات بصورة منهجية مقرونة بقياسات فيزيائية كيميائية ، وبصورة رئيسية من قبل البيولوجيين الانكليز ، والالمان والسكندينافيين . وقد اثبتت هذه التحليلات مفهوم الانتاجية . ودرس علم المحيطات الدانمركي الاحياء النباتية في البحار فبين أن مردود التخليق الضوئي هو في البحر اضعف منه في البر .

علم البحيرات - ولد علم البحيرات في القرن التاسع عشر ، وتحدد سنة 1922 في المؤتمر الدولي في كييل وكأنه علم المياه الحلوة . فهو يدرس العوامل الفيزيائية - الكيميائية في البحيرات والمستنقعات ، والمياه الجارية ، ويدرس جماعات المياه الحلوة ، والاتحاد النباتي الحيواني ، وعلاقته مع ظروف المكان . وكانت تربية الاسماك في البرك أحد تطبيقاته المباشرة .

والمؤلفات حول علم البحيرات الاساسية هي مؤلفات ر . دمويل وم . ماير (شتوتغارت ، 1925-1942) ، ومؤلفات آ . تينيمان (شتوتغارت ، 1925-1942) وب . س . ولس (نيويورك ، 1935) وروتر (برلين 1940) ، الخ .

وكان ل . ليحي ول . كريتمان الرائدان في علم البيولوجيا المائية الفرنسية . فمنذ 1910 ، درس ليحي سكان مجاري المياه في « سالمويد » وحدد مفهوم الطاقة التوليدية الاحيائية التي تعبر عن القيمة الغذائية في مجاري المياه بالنسبة إلى السمك . ودعا إلى طريقة منهجية لرسم الخرائط والمخططات التربوية السمكية ، اعتمدت سنة 1925 . في سنة 1945 ، عرّض اسس الاقتصاد البيولوجي انتاجية أنهار السيبرينيد (Cyprinides) وتأليفه مهم في مجال ابراز قيمة المياه الجارية .

في سنة 1925 أوضح ل . و . كوليت Collet مختلف أصول البحيرات ؛ إن العوامل الحرارية تمارس تأثيراً عميقاً على السكان (ج . موقي ، 1929) ؛ إن التيارات التي يثيرها الهواء أو درجة الحرارة قد درست من قبل كريتمان ومن قبل مركانتون ؛ إن التركيب الكيميائي لمياه البحيرات وأنواعها قد حللت من قبل العديد من المؤلفين . ووضع أ . نومان وآ . تينيمان تصنيفاً بيولوجياً للبحيرات يركز على مقارنة سماتها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية .

إن إعداد البحيرات لتربية الأسماك قد دعا إليه العديد من المؤلفين ، واجريت محاولات تجريبية في بحيرة ليما (ل . كريتمان) ، وفي بعض بحيرات منتجة للسرطانات . إن العديد من الاعمال قد حللت تركيب مختلف مجموعات المياه الحلوة .

وعلى نفس مستوى المختبرات البحرية ، أنشأت البلدان المختلفة مختبرات مائية بيولوجية ؛ في فرنسا مثلاً ، عدا من المختبر الذي أسسه ليجي Léger في غرونبل ، أقيمت محطات أخرى . محطة بحيرة بورجي (1933) ، ومراكز ثونون ، وباراكلي (1939) ، ومركز البحوث البيولوجية المائية التابع للمجلس الوطني للبحوث العلمية (جيف - سور - ايشت) .

الحيوانات التخللية - [أي في المياه تحت السطح تحتويها الفراغات بين الصخور والرواسب] - كان جيار Giard والأميركي كوب رائدين في دراسة هذه الحيوانات الخاصة التي توجد في المياه القارية كما في المياه البحرية .

والعديد من علماء البحيرات تخصصوا في فحص الحيوانات التخللية في المياه القارية ومنهم : السوفيياتي ساموشين Sassuchin (1927) ثم البولوني ويسنيومسكي Wiesniewky ، والأميركي بيناك ، والفرنسي - السويسري ب . آ . شابويس ، والنمساوي زوتشر - كوليسكو ، والفرنسي أ . آنجليه ، والروماني موتاس . والعديد من الأنواع الجديدة قد اكتشف في المجال الحيوي الذي درس .

ومنذ 1934 ، درس الالمانيان ريمان وشولز حيوانات المياه الجوفية الشاطئية ، والحيوانات الميكروسوبية القاعية في الرمال . في فرنسا ، قامت بحوث مماثلة حوالي سنة 1950 في بانيولس وروسكوف بإشراف ج بني وج . تيسيه . ودرس فوري - فرميه بصورة خاصة الحيوانات الميكروسكوبية الرملية . وانطلاقاً من مراكز كييل وبانيولس وروسكوف ، انتشر هذا النوع من الفحوصات في مختلف البلدان ، خاصة في السويد .

حيوانات المغاور - إن وجود الحيوانات في المغاور معروف منذ بعيد .

منذ القرن السابع عشر كان من المعروف أن قفراً مائياً يعيش في مغاور كارنيول ؛ ووصفه لورنتي 1781 تحت اسم « بروتس انغينوس » . في هذه المغاور الشهيرة اكتشف أيضاً أول حيوان كهفي أرضي عرفه ف . شميدت سنة 1832 . هذا المغمد الاجنحة لبثوديروس هو هنوراتي تميز بشغافية جلده الخارجي ، وبطول ونعومة زوائده ، وبعماء وبمعدته الطيعة . حفز هذا الاكتشاف الفضول واحدى إلى تطوير البحوث البيولوجية في المغاور في العديد من البلدان .

إن الاستكشاف المنهجي للمغاور والكهوف قد بدأ سنة 1870 في البلقان وتم عندها وصف الحشرات الكهفية في جبال الألب الدينارية . ثم قام علماء حشرات طليان وفرنسيون باستكشاف كهوف ليغوري وتوسكانه والبيرنيه وجمع ر . هامان المعارف المكتسبة (حيوانات أوروبا ، 1896) .

في مطلع القرن العشرين حفزت البحوث من قبل ر . جاننيل Jeannel وأ . راكوفيتا Racovita .

وتمت الاستكشافات الاولى التي قام بها جاننيل في جبال البيرنيه ، واستكشافات راكوفيتا في مايوركا . وتعاون هذان الاختصاصيان طيلة أكثر من ثلاثين سنة ، فنظما حوالي خمسين حملة ، زائرين وواصفين أكثر من 1200 كهف في أوروبا وإفريقيا وأميركا .

واستندت دراسة المحاصيل لمختلف المتخصصين ، وتدرجياً تثبت السمات الخاصة وثروة هذه الحيوانات الكهفية . وقدم هـ . ساندل سنة 1926 جدولاً بالانواع المائية القاعية ، ونشر جانيل « الحيوان الكهفي في فرنسا » . وتم وضع جدول مماثل لبليجيكا من قبل ر . لروث (1939) ، في حين نشر ب . وولف « كاتالوغ الحيوانات الكهفية » (1934- 1937) . وصدرت نشرة تخصصية بعنوان : « ميت . هوهلن اند كرستفور شونخ » منذ سنة 1930 . كذلك فإن حيوانات الكهوف الاصطناعية ، وخاصة مراديب المناجم ، قد درست أيضاً .

المختبرات تحت الارضية - إن الحاجة إلى تنظيم مختبرات متخصصة قد فرضت نفسها بسرعة من أجل امكن تربية حيوانات الكهوف ومن أجل تنظيم البحوث التجريبية حول هذه الحيوانات الخاصة .

إن أول مختبر أرضي ، أنشأه فيريه Viré سنة 1897 ، تحت بستان النباتات في باريس قد تدمر بفعل فيضان سنة 1910 . وفي سنة 1930 نظم ج . آ . پركو Perco محطة حقيقية احيائية كهفية ، في سرداب في غار أدلسبرغ (پوستونيا) . في فرنسا انشئ مختبر تحت أرضي بإدارة آ . ثاننل من قبل المجلس الوطني للبحوث العلمية في سنة 1954 ، في كهف مولوي (ارياج Ariège) ، في وسط منطقة غنية بشكل خاص بالكهوف . وهناك مختبرات أخرى تحت أرضية انشئت في جبال الكاربات ، في رومانيا وفي اميركا .

إن البحوث الاحيائية الكهفية ، تهتم بصورة رئيسية بتطور الحيوانات الكهفية ، وفيزيولوجيتها ، وفي تركيب صلصال الكهوف وقيمتها البيولوجية .

تأكدت مدام دولورانس Deleurance إن نمو مغمدات الاجنحة الكهفية يتم في البيضة وأن المرحلة اليسروعية تكون تقريباً مخفية . وتبدو الحيوانات الكهفية ذات ايض شيخي هرم . ولأول مرة (1958) تكاثر الضفدع المبرق (الابيض) والاعمى في موليس . وكانت اليرقات سوداء وذات عيون . وبخلال النمو فقدت الوانها وانحسرت العين . هذا التراجع المزدوج ناتج عن اوالية غددية صمائية : عدم حفز النخامية بالضوء ، وتباطؤ نشاطها بفعل درجة الحرارة المنخفضة السائدة في المكان . إن اهمية دور الصلصال ، وهو بيئة حية غنية بالميكرو- أجسام ، قد ثبتت بفضل في . كومارتن (1957) .

حماية الطبيعة - سنة 1872 ، انشئ بموجب قانون صادر عن الكونغرس في الولايات المتحدة الاميركية ، « بارك يلوستون الوطني » (Yellowstone National Park) . وفي سنة 1898 ، نظمت جمهورية الترانسفال ، من أجل المحافظة على الحيوانات البرية « سابي غيم ريزرف » الذي تحول ليصبح « كروجر ناشيونال بارك » (1926) . إن هذه الانجازات كانت المظاهر الاولى لمفهوم هو حماية الطبيعة ، ازدهر وتقدم في القرن العشرين .

هذه الحماية ، التي اعتبرت لمدة طويلة كاحساس عاطفي وخيالي ، أخذت تُدرس بموضوعية . واهميتها في مستقبل الحضارة أخذت تُكشف ؛ ان التدني ثم الزوال الكثيف للعديد

من الأنواع الحيوانية والنباتية أخاف الأفكار . وساد الاهتمام بالوسائل التي من شأنها أن تحفظ الثروات الحيوانية والنباتية ؛ ووضعت برامج وأنظمة .

وفي سنة 1900 وقعت الدول ذات المصالح في افريقيا ، في لندن ، اتفاقاً يؤمن حماية الطريدة . وعقد أول مؤتمر دولي لحماية المناظر الطبيعية سنة 1909 . وجلست أول لجنة استشارية للحماية الدولية للطبيعة ، في برن سنة 1913 . وعقد أول مؤتمر دولي لحماية الطبيعة في باريس سنة 1923 . وفي سنة 1925 افتتح البارك الوطني « بارك البرت » في الكونغو البلجيكي يومئذ . في سنة 1933 وضعت اتفاقية لندن اسس الدفاع والحماية ، لحيوانات ولنباتات افريقيا . ووضعت تعريفاً لعبارة المحجر « بارك وطني » ، ولعبارة « حمى طبيعي متكامل » . وفي سنة 1934 صدر مرسوم بإنشاء مؤسسة « المحاجر » الوطنية في الكونغو البلجيكي ، ذات السمة الدولية .

في سنة 1948 قرر مؤتمر دولي انشاء الاتحاد الدولي لحماية الطبيعة ، الذي تأسس رسمياً سنة 1954 تحت رئاسة ر . هيم Heim . وبعد ذلك أصبحت حماية الطبيعة واقعاً يتجاوب مع أهداف محددة . ووضعت البرامج ، ونوقشت النتائج بخلال مؤتمرات أو محاضرات .

كل هذا يشهد بتسرب فكرة حماية الطبيعة . وقد أظهر الاتحاد الدولي عن نشاط محمود واتخذت مبادرات متنوعة . وانشئت « ملاذات للطبيعة » محمية في اميركا ، وافريقيا وحتى في اوربا . وكانت النتائج بارزة ؛ ويفضل تدابير صارمة ، تكاثرت الشاموا والمارموت [حيوان قاضم لبون بنام الشتاء] بالوعول . وفي فرنسا ، ساعد مخلف « حمى » كامارغ ، والمخالف الطيور ، في ست - ايل وفي كاب فريهل الخ . على اعادة تأهيل انواع مختلفة . وفي العديد من البلدان ، ما تزال توضع مشاريع انشاء جنائن وطنية « بارك » أو حمايات (أي مخالف) .

الجغرافية الحيوانية (زوجيوغرافيا) - في سنة 1913 ، وضع غادو بياناً بتاريخ الجغرافيا الحيوانية وسماتها الأساسية . وشرح التوزيعات الحيوانية ، لم يتردد علماء الجغرافيا الحيوانية عندئذ في قبول فرضيات مغامرة . من ذلك أن الكثيرين حاولوا أن يبرروا نظرية الجيد أو الانحراف في القارات والتي وضعها ويجنير (1911) التي بدت ملائمة مع التوزع الخاص لبعض الانواع . وبالمقابل فضل آخرون اللجوء إلى فرضيات القارات الجسور .

في سنة 1915 أثبت الكتاب المهم الذي وضعه و . د . دي ماتيو ، « المناخ والتطور » بداية الجغرافيا الحيوانية الحديثة .

اعتبر ماتيو أن المناخات قد تحكمت بالتطور ، فوصف ، من منظور تاريخي ، توزع الحيوانات الأرضية عبر التاريخ الجيولوجي ؛ وبين عدم جدوى القارات المفترضة العابرة للباسفيك أو للأطلسي ، إن العلاقات الوسيطة (الدهر الوسيط) والثالثة بين آسيا واميركا الشمالية وبرزخ باناما هي كافية لتفسير توزع الثدييات . وخلافاً للنظريات المقبولة عموماً ، كان لهذه الافكار تأثير كبير ، ووسمها باحثون في « المتحف الاميركي للتاريخ الطبيعي » تحت اشراف و . ك . غريغوري Gregory .

في سنة 1922 في «عمر ومناطق» رأى ج. ك. ويليس أن الأبعاد مساحات الأنواع تابعة لأعمارها ؛ فالأنواع الشابة ثلاثها مساحات صغيرة ، والأنواع القديمة ثلاثها مساحات كبيرة . وتركت هذه النظرية لصالح التحديد البيئي . في سنة 1924 حلل ر. هس المظاهر البيئية في الجغرافيا الحيوانية . إن توزيع الحيوانات مربوط ، من جهة ، بالعوامل المناخية والاحيائية ، ومن جهة أخرى ، بالمنافسة وبالتعاون مع الافراد الآخرين .

إن التوزيع الجغرافي للحيوانات الأرضية والمائية كان موضوع العديد من النشرات ومنها عموماً مؤلفات إكمان (1935) ونويبيجين (1950) وتينيمان (1950) وبوفورت (1951) وب. ج. دارلنغتون (1957) . وفي فرنسا ، كان قيد الأعداد أطللس للجغرافيا البيئية ، مؤلف من خرائط مشروحة ، مخصصة للتوزيعات الجغرافية الحيوانية والنباتية .

إن الأعمال التي قام بها ارلدت (1907 ، 1938) ، وجانيل (1935 ، 1940) ، وسمپسون (1940) ، وماير ومعاونوه (1952) تدل على الاهتمام الملح الذي يحمله علماء الجغرافيا الحيوانية تجاه سيل الهجرة التي سلكتها الحيوانات عبر العصور . إن وجود قارة غوندوانا الشهيرة ، قد وضع موضع الشك ، خاصة من قبل ج. ميلوت (1952) .

وظهر اتجاهان بين علماء الجغرافيا الحيوانية المعاصرين : البعض يرى أن هذا المجال هو فرع من علم البيئة ؛ أما الآخرون الذين يهتمون بالناحية التاريخية ، فيدرسون تنقلات الحيوانات عبر التطور ، مع إهمال ، نوعاً ما ، للتوزيعات الحالية .

إلا أنه إذا كانت هذه التوزيعات تفسر بالتوزيعات القديمة ، فالعكس هو أيضاً صحيح . ولهذا يبدو وكأن الجغرافيا الاحيائية (الجغرافية الحيوانية والنباتية) يجب أن تعتبر كدراسة تطورية مرتبطة تماماً بعلم البيئة ويعلم الاحاث .

IX - علم السلوك (ايتولوجيا)

تدرس ايتولوجيا سلوك الحيوانات في مجمله . منذ حوالي عشرين سنة ، أصبح لهذا العلم مناهجه الخاصة . لقد قامت ثورة في مجال علم النفس الفيزيولوجي . وتأثير من الموضوعين المغالين ، ترصد الحيوانات في أماكنها ، وليس في المختبر .

إن السلوك الفطري الذي ليس له أي رابط بالامكتسبات الفردية يتضمن الانعكاسات والانتحاءات أو التصنيفات (Taxes) والغرائز . والانعكاسات ، وهي اجوبة جزئية على تحفيز ما ، ليست سلوكاً حقاً ، ولكنها تشارك بالسلوكات المعقدة وبالانتحاءات والغرائز .

الانتحاءات - إن المفهوم العام للانتحاء الحيواني المقرر من قبل ج. لوب (1890) قد

تعدل فيما بعد وتوضيح (جينغز ، 1906 ؛ بوهن Bohn 1921 ؛ لك . هرتز 1924-1940 ؛ فيو 1938-1956 ، النخ) .

ويجري تمييز مجموعتين من التفاعلات المحركة الموجهة جواباً على اشارات طبيعية فيزيائية :

1- التفاعلات الخاصة لقانون ذروة الاثارة ، أو الانتحاءات الحقة ، التي هي إجابات غير تكيفية .

2- التفاعلات التي تحاول أن تجعل الجسم ضمن شروط تهديدية من التحفيز أو انتشاله من أثر الحوافز : إنها انتحاءات كاذبة أو معانيات .

في الوقت الحاضر ، تتوافق مع الانتحاءات أو التصنيفات القديمة السلوكات القصوى التي تتضمن انتحاءات حقة ومعانة (انتحاء ضوئي ايجابي أو سلبي) والسلوكات التفضيلية ، وتتضمن حالات المعانة (الانتحاء الحراري ، والانتحاء المائي ...) . والانتحاءات وحالات المعانة لها سمات مشتركة ؛ إنها ردات فعل تجاه حافزات - عوامل غير ذاتية ؛ إن هذا الانفعال ، لا يمتلك دافعاً كما تدل على ذلك تجارب تيتشاش Titchach (1922-1926) ، وهـ . برخت Precht (1952) . ولكن الانتحاءات والمعانيات تختلف من الناحية السيكلولوجية الفيزيولوجية ، فالانتحاءات الحقة لا تقتضي تكامل صحة النظام العصبي وتظهر في أي قسم حيـ وناشط من الجسم (بانكروفت ، 1904 ؛ سيمنسكي ، 1929-1934 ؛ فيو 1949-1953) . وبالمقابل أن المعانيات تتطلب سلامة المراكز العصبية عند الحيوانات ذات النظام العصبي المركزي (هـس ، 1924 ؛ فيو ومديوني ، وشيمنسكي) .

الفريزة - إن الغرائز هي سلوكات ذات تحديد داخلي مسيطر . وهي تمثل ردات فعل ادراكية تجاه اوضاع وتجاه اشياء .

والفريزة اعتبرت ، في أغلب الاحيان ، كشكل من النشاط غامض ، ولذا كانت لها سمعة سيئة ، خاصة في فرنسا . وبناء عليه لم يكن لها أي مكان في « موسوعة علم النفس » الشهيرة التي وضعها ج . دوماس . إلا أن مسألة الفريزة تبقى قائمة . وقد وضعت لجنة مصغرة دولية (عقدت في باريس سنة 1954) ، تركيبة ممتازة للمعارف حول هذا الموضوع .

إن المناقشات حول العلاقات بين الغرائز والانتحاءات تعود إلى تحولية الغرائز إلى انتحاءات وإلى انعكاسات . يرى البعض إن الغرائز ليست إلا سلاسل من الانتحاءات والانعكاسات المنطلقة تباعاً بفعل حوافز خارجية (بوهن ، رابود) ؛ ويرأي هؤلاء الباحثين ، تجمع كلمة فريزة ظاهرات مشتتة مجموعة عشوائياً . إن هذا التصور المركّز بشكل خاص على تجارب مختبرية والذي يعزل كيفياً بعض التفاعلات ، ربما اثر على افكار ج . ب . واطسون .

إن هذا الأخير وهو أب السلوكية ، قد حذف من علم النفس العلمي ، الفكر والوعي ،

واحل محلهما السلوك (1914) ، مفتتحاً دراسة موضوعية للوقائع ، ومبينا كل الصعوبات الحاضرة ، حتى في سلوك بسيط . وهكذا خلق حالة فكرية تساعد على الموضوعية .

وبعدها تطورت النظريات الموضوعية تحت تأثير ك. لورنز الذي عرف كسابقين له آ. ر. والأمس ، هينروت (دي فوجل ميثل أوروبا ، 4 مجلدات ، 1924-1928) ؛ ت. هوكسلي . إن اطروحات لورنز (1930) قد شرحت ووسعت من قبل ن. تينرجن ، كولر ، بايرندس وثوب .

كان لورنز طالباً شاباً فتبع محاضرات ماك دوغال ، واندعش من أن هذا الاستاذ الشهير ، لا يراقب أبداً حيواناً خارج المختبر ، في حين أنه هو كان مولعاً بمراقبته للبط البري ، وحاول لورنز ، ثم تينرجن ومجموعة من المتحمسين الطبيعيين للأرض ، وهم يرصدون سلوك الحيوان ، التفتيش عن مبدأ تفسيري . إن الأشياء التي تحكم النشاط الحيواني هي بواعث (دوافع ، مُطلقات) أو هي حوافز اشارات : مثل بقع ملونة في منقار النورس ، خصلة من الريش في عنق ابو الحن ، الخ . إن البواعث ، الموجودة بالمثل لدى الحيوانات ، تفسر العديد من الخصوصيات التشكيلية الخارجية ودورها الفيزيولوجي .

والحيوانات الدنيا التي لا يشكل العالم الخارجي بالنسبة لها سوى حاشية (مركولت Merkwelt) (فكهول Vexhull 1921) تعرف أشياء العالم بعدد قليل من الاشارات . وبالنسبة إلى الحيوانات العليا ، يشكل العالم « جيجن ولت » (Gegenwelt) معروف بالعديد من الاشارات المميزة التي قد تتناوب في اطلاق التفاعلات الغريزية (قاعدة أكثرية الحوافز ، ب-ب . غراسي) ، وقد تتجمع ، باعتبار أن إشارة واحدة تكون بدون أثر (قاعدة الانذارات المختلفة ، لورنز وتينرجن) . إن المطلق يطلق لدى الحيوان سلسلة من الاعمال البسيطة أو المعقدة ، هي ذاتها دائماً (سلسلة متتالية) تنوالى ضمن نظام محدد (عادة التناسل ، والتعشيش ، الخ) إلى أن يقع العمل النهائي (العمل الاستنفادي) ؛

وضمن المنظور يتضمن السلوك الغريزي :

1- سلوك اشتها سببه التحفيز ، وهو سلوك استكشافي أو بحثي عن الغرض الذي يمكن أن يرضي الميل . وزخم ردة الفعل الغريزية يتعلق بقوة الحفز ، وهذا الحفز هو في أغلب الاحيان ذو علاقة مع مدة الحرمان الذي يخلق الاحتياج . واقترح لورنز (1949) رسيمة مائية ليبين أن « طاقة داخلية النمو » تتراكم داخل الجسد اثناء الحرمان . وتنطلق طاقة داخلية النمو كافية ، تحت تأثير الحافز الملائم لتفريغ بردة فعل غريزية .

2- عملاً استنفادياً يثيره ادراك الإشارة الملائمة . هذا النشاط داخلي النمو وأوصافه الوراثية تظهر في « النشاطات الفارغة » .

وأطلق تينرجن الفرضية القائلة بأن النظام المتراتب مع التفاعلات يتوافق مع تراتب في المراكز العصبية ، باعتبار المراكز العليا ركائز الحفز . والمراكز الثانوية تسيطر على الاعمال الاستنفادية .

من مجمل السمات ، يتحصل أن تعارضاً يتواجد بين الانتحاءات والمعانيات من جهة ، وبين الغرائز من جهة أخرى . وإذا فالمسألة التي تقول برد الغرائز إلى الانتحاءات لم تعد تطرح . ومع ذلك فالانتحاءات والمعانيات الا يمكنها أن تساهم في السلوك الغريزي ؟ لقد جرى تحليل غرائز معقدة من أجل محاولة استكشاف حصة الانتحاءات فيها .

إن صنع شبكة العناكب المحجرجة (الواقية) قد درس بعناية . وعولجت عناكب بأدوية تخجل الاعصاب تنحاز ، فنسجت شبكاتها وفقاً للرسيمة الخاصة بها ، حتى عندما كانت وظائف النسيج مضطربة . إن بناء الشبكة يقتضي إذاً « سلوكات نمطية » فطرية أو موروثية ؛ إن الانتحاءات تبدو وكأنها توجه التفاعلات الذاتية الخاصة أو هي تصدها .

إن الهجرات الوراثية للأسماك وللطيور تتم وفقاً لنمطين كبيرين (واشز Wachs ، 1926) ؛ أما على جبهة عريضة ، وأما على طرق محددة . والهجرات على جبهة عريضة تتم فوق مساحة كبيرة تتوافق تقريباً مع خطوط تغييرية مساوية لشروط فيزيائية (ضوء ، حرارة ، ملوحة ، الخ) .

إنها انتحاءات أو معانيات تتحكم بالأفعال المحركة للحيوان البحري كالاسماك الموسمية (الرنكة والمورة ، أو اسماك المياه العذبة أو المياه الحارة) . إلى هذا النمط بالذات تنتمي هجرات يساري الانقليس : اكتشف ج . شميدت ، بخلال استقصاء طويل (1905-1925) إن الحنكليس (الانقليس) الأوروبي تذهب لتتناسل ، فقط ، في القسم الاوسط من بحر سراغاس ؛ والخارط التي وضعها تدل على أن هذه الهجرات محكومة بشروط فيزيائية مكانية . إن تحول اليساري إلى افراخ يقتزن بتحويلات في الانتحاءات نتيجة أثر تضخمي في النخامية (فيشر ، 1946) ، أو بسبب نشفان مرتبط بتضخيم الغدة الدرقية عند التحول . ينتج عن ذلك أن الافراخ (بلاعيط) تصعد النهر من جديد . أما الطيور المهاجرة فوق منطقة واسعة فتخضع كذلك ، لتغيرات في الظروف الفيزيائية .

إن الهجرات فوق طرق محددة تعرض بشكل مختلف فهي تقطع خطوط التحارر ، ولا يظهر عليها اهتمام بخطوط تغيرات الشروط الفيزيائية .

إن الاسماك النهر - محيطية [التي تتناسل في المياه العذبة وتعيش في البحار] (كالحنكليس) والأسماك النهرية كالسلمون تقوم بهجرات واسعة (5000 إلى 6000 كلم بالنسبة إلى الحنكليس (الانقليس)) ضمن طرق محددة . وتغيرات المكان تظهر للحنكليس كمجمل اشارات توجه الهجرة في المدى البعيد . وهجرتها تبدو عندئذ كفرصة وليس كمجمل من الانتحاءات . إن هجرات السلمون ترتبط أيضاً بمعقد من الاشارات المدركة خاصة بها (سورنغ 1929) . إن التغيرات في العوامل الخارجية تطلق هجرة الافراد ، المعدة فيزيولوجياً (فونتين) . وقد تدخل الانتحاءات في اطلاق الهجرة ، ولكن الانتقال على طرق محددة واكتشاف المساري (اماكن توالد السمك) يعود إلى الغرائز .

ترتدي هجرات الطيور نفس مظهر هجرات الاسماك ، فهي مستقلة عن الشروط المناخية

ولكنها محكومة بردات فعل ادراكية هي الغرائز .

وقد نوقش بكثرة اتجاه الطيور المهاجرة . وقد تم تتبع تطور منذ الانتحاء الضوئي حتى التوجه سداً للشمس : توجه ذاكري تكتيكي عند كُهن Kuhn (1919) ، بالنسبة إلى حشرات تتخذ الضوء دليلاً مرشداً ؛ توجه ذاكري تكتيكي يكون فيه الضوء اشارة ، تجارب حول بيات Homing النمل (آ . بُون Brun) ، والنحل (أ . ولف) ، حول رحلات النحل ورقصاتها (فون فريش) ؛ وأخيراً توجه ذاكري تكتيكي يتعقد بإمكانية تصحيح زوايا السير تبعاً لتغيرات موقع الشمس عند النحلات (فون فريش) ، وعند براغيث البحر والطيور (كرامر ، 1952) .

وقام ب . ب . غراسي سنة 1942 بتحليل انقسام الارضات (دودة الخشب) ، معقد غريزي . ويتدخل بعض الانتحاءات في بداية السلوك أو في بعض المراحل ؛ وكل شيء يتوافق مع تفاعلات غريزية .

إن دراسة الانتحاءات الضوئية والسلوك السمي - الجنسي مرتبطة تماماً بتقدم الفيزيولوجيا السمية . وقد نشرت تصويبات حول هذا الموضوع حديثاً (هاسكل ، 1961 ، بونيل Busnel ، 1962) . إن بحوث بونيل ومجموعته تقدم تطبيقات عملية ، مثلاً الافادة من تأثير الجراد المهاجر بالاصوات من أجل تحويله عن المناطق الزراعية التي يتهدها بالهوط فيها ؛ وكذلك الامر بالنسبة إلى الغريبات .

في هذه الامثلة ، تظهر الانتحائية بصورة رئيسية ، عند سلوكات الاشتهاء ، ولكنها لا تتدخل في الاعمال الاستفادية التي تمثل اساس الغرائز . ولهذا في الغرائز البسيطة (النفور والميل) يحتل الانتحاء والمعاناة مكانة أكثر اهمية . إن المرحلة الاستفادية قصيرة جداً .

الظواهر الاجتماعية - إن نظريات لورنز وتبرجن تركز في معظمها على الاستعراض الجنسي عند الطيور ؛ والمتحدييات عندها يسهل تمييزها . في فرنسا ، ويتأثير من غراسي ، توجهت الاعمال نحو الظواهر الاجتماعية ، وبصورة اخص نحو مجتمعات الحشرات .

إن اجتماعات الحيوانات يمكن أن تشكل جماعات لا يوجد بينها أي تجاذب ، فيما بين الأفراد بعضهم تجاه بعض (رابود ، بيكار) ، مشاركات طفيلية ناشطة متميزة بانجذاب وحيد الطرف ، وداخل النوع ، وأخيراً تجمعات اجتماعية فيها يمارس الفرد حقراً على اقارنه ، والمجموعة تمارس أيضاً أثراً على الفرد . إن حقيقة الجذب المتبادل ، أو التجاذب المشترك قد ثبتت تجريبياً عند بنات دوران (ليدو Ledoux ، 1945) وعند الجراد المسماة زونوسيروس (غليوم Guillaume ، 1956)

في المجموعات الاجتماعية ، تصنف تجمعات غير متسقة وبسيطة (بما فيها التجمعات الموسمية ، وتجمعات النوم) وتجمعات متجانسة ؛ إن تجانس الحركات ملحوظ في اسرار الجراديات المهاجرة ؛ بين اوقاروف أن الجنادب المهاجرة تتواجد بشكلين ، شكل مفرد متوحد أخضر ، لاأذ في مساحات مولدة للتجمع وشكل سربي ، مع غلبة البرتقالي والأسود فيه ، الذ

يترك المساحات المولدة للتجمع ، ويقوم باتلاف المزروعات كما هو معروف (ظاهرة المراحل عند أوفاروف 1928) .

إن آثار التجمهر (أثر الجماعة المتركة على الأفراد ، تغيرات تحدثها كثرة العدد على المكان) قد يكون لها أثر جماعي تجاه الظروف غير المؤاتية (بوهن ودرزوي Drzewina ، 1920 ، آلن Allen ، 1923-1934) . إن آثار المجموعة (تأثير متبادل للحوافز الحسية عند الأفراد المتجمعين) قد تؤثر في سرعة النمو ، وعلى ايض الحشرات (غراسي ، پارك ، شوثن ، كيزيموتو) ؛ وقد درست أيضاً عند الحمام (هاريسون) وعند الأسماك الحمراء (شلايفر Shlaifer) .

في التجمعات الاجتماعية يتدخل ، ليس فقط التجاذب المتبادل ، بل أيضاً الاشتاء الاجتماعي (ويلر Wheeler) أو الدفع الداخلي الذي يجبر الحيوان نحو اشباهه . إن التجاذب الداخلي ، مستقل عن الجنس وعن الحياة العائلية ؛ إلا أن الحقبة الجنسية ، وتربية الصغار تسهل تطور المجتمعات .

لقد درست المدرسة الموضوعية بعناية فائقة الروابط الاجتماعية ، والحركات والمواقف التي ترافقها : روابط اجتماعية بخلال فترة السفاد ، اواليات الروابط الاجتماعية قبل وبعد التسافد ، العناية بالصغار ، تعرف الأيون إلى صغارهما ، وضع التراتيبات (حيوان ألفا وحيوان أوميغا) لدى الطيور ، لدى الأسماك ، ولدى الثدييات . وخصص العديد من الأعمال للسلوك الاجتماعي عند الأسماك والحافريات وإنسانيات الشكل .

الاقليم - إن الاقليمية في التنظيم الاجتماعي عند الفقريات هي مسألة مهمة جداً . إن علماء الطيور الأرضية ، هم أول من فكر بمفهوم الأرض أو الاقليم .

يمكن أن يعتبر التوم Altum (1868) كسباق ، وطورا . هوارد Howard (الاقليم بالنسبة إلى حياة الطير 1920) افكاراً ، بعد أن استقبلت بشكوك ، قبلت أخيراً ، وتم اقتراح امثلة حول الاقليمية ، عند الطيور ، والثدييات ، والزواحف ، والأسماك .

وبالنسبة إلى ارسترونغ ، تعتبر الأرض منطقة محرومة يحميها شغلها ضد المنافسين من جنسه ، والاقليم بالنسبة إلى الطيور كان موضوع توضيحات (نيس ، 1941-1943 ؛ ارسترونغ ، 1947 ؛ مايود Mayaud ، 1950) ؛ وعرف نيس وألي (1949) خمس فئات من انماط الاقليم أو الأرض . وتسلك الطيور الاجتماعية مسلماً خاصاً (لورنز 1938 ، بالمر ، 1941) . وكلما كان المجتمع معقداً ، كلما كان السلوك الاقليمي الفردي ميالاً إلى الزوال ، أمام دفاع جماعي ، من قبل مجموع الافراد . وعند الزواحف يبرز الاقليم الفردي خاصة في حقبة التناسل .

وهناك رابط بين السلوك الاقليمي والتراتب الاجتماعي ، وعرف برت Burt (1943) لدى الثدييات المجال الحيوي (محيط البيت) أو المنطقة المعتادة التي يطرقها الفرد ، والاقليم بالمعنى

الصحيح ، الذي يقتصر على المنطقة المحمية من قبل مالكها ضد اشباهه واقارانه . إن اعتدائية الثديى تظهر فقط في جوار منزله ، ولا يوجد السلوك الاقليمي إلا عند الانواع الوحيدة الزوج أو التي تطبق تعدد الزوجات . والأقاليم الجماعية ملحوظة عند الحيوانات الرأسية [الشبيهة بالانسان] .

الحشرات الاجتماعية - إن المجتمعات العليا عند الحشرات ، كالنحل والدبور والنمل والأرضة ، هي متميزة للغاية ومنظمة ، وتبدو في تناهي التعقيد في العلاقات الاجتماعية . إن التجاوب حتى بين الافراد من عشائر مختلفة ، والتحاب الاجتماعي ، يدلان على تطور بالغ وعلى سمة اجبارية .

ثم أن الترابط المتبادل الذي يجمع بين الأفراد المختلفين ضمن المجموعة الاجتماعية هو الاقصى ، فالفرد المعزول يعيش بصعوبة (غراسي وشوفين ، 1944) . وعلى العموم ان المجتمع يكون مغلقاً ولا يقبل دخول افراد اغراب ؛ وحدها اللافقریات ، غير الاجتماعية تقبل (اليف الأرضة ، اليف النمل ، اليف النحل ، الخ) . إن الجمع الاجتماعي يتألف من افراد يتمتعون إلى كل مراحل التطور ، وإلى طبقات متميزة إلى حد ما (الانتحائية الاجتماعية) . إن النشاطات الجماعية ، وخاصة البناءات هي معقدة .

وخصصت البحوث الكثيرة للانتحائية الاجتماعية ولحتميتها ، عند الأرضة والنحل والنمل والدبور .

ومن بين الاعمال الحديثة حول النحل ، نذكر اكتشاف الروائح الهرمونية ، التي بها تمارس الملكة تأثيرها الذاتي ، والتي تعطل نمو المبيض عند العاملات ، اللواتي يلحسن الهرمون من اغشية الملكة (بوتلر ، بين وبارييه) ، وتقنيات البناء والقدرات على التصحيح والتصليح عند النحل (دارشن Darchen) ، ولغتها (فون فريش ، لندور ، وهيران) . ودرس رينيه Raignier وستمير الحياة الاجتماعية ، عند النحل ، ودرس دولرانس وروبود حياة الدبابير . أما الأرضة ، فقد كانت موضوع دراسات عديدة من قبل پ . پ . غراسي ومدرسته : اعمال حول انتظام الارضات البناء (قوة العمل) ، وقطيع المجتمع عند الأرضة الافريقية ، الخ . إن ستينر - وهو يدرس السلوك الغادر عند احدى غشائيات الاجنحة (كالنحل) وهي « ليريس نيزرا » ، طرادة الجداجد - اثبت وجود « معرفة تشريحية غريزية فطرية » ، وهو استنتاج ثبت علمياً ، انضم إلى الملاحظات القديمة التي قام بها فابر Fabre سابقاً والتي كانت موضوع جدال من قبل العديد من علماء الحيوان .

إن هذا العرض السريع يدل على أن علم السلوك قد نهض نهضة ملحوظة ، والنتائج الحاصلة تتيح الحصول على حصاد غني في المستقبل .

* * *

إن النمو المكثف والانجازات في مجال علم الحيوان تترجم بتفرع المجالات العلمية المتنوعة ، التي توشك ربما أن تنسى الوحدة الحيوانية . إن الغاية القصوى من هذا العلم تكمن في دراسة الحيوانات ، واصلها ، وامكاناتها على العيش في الطبيعة .

الوراثة والتطور

I - الوراثة

إن الاعمال الرائعة التي قام بها مندل Mendel ، مؤسس علم الوراثة ، يعود تاريخها إلى سنة 1865 ، (راجع المجلد الثالث) . ولكن في تلك الحقبة ، مرت هذه الاعمال غير مأبوه بها ، وبقيت كذلك حتى سنة 1900 ، وهي سنة خصبة بشكل خاص حيث قام بها ، كل على حدة ، ثلاثة علماء نبات هم : الهولندي هوغو فري ، والالمانى ك . كورنس ، والنمساوي أ . ثون شرامك ، فاكشفوا من جديد قوانين التهجين النباتي . وبذات الحقبة عمد عالمان بالحيوان ، الانكليزي و . باتيسون Bateson والفرنسي ل . كوينو Cuénot إلى تطبيق هذه القوانين على الحيوان . إن مذكرة مندل قد سحيت من النسيان ونشرت وترجمت إلى الفرنسية (آ . شاپيليه ، 1907) وإلى الانكليزية (باتيسون ، 1909) . وسميت قوانين التهجين بقوانين مندل ؛ وسمت الوحدة هي السمة المندلية ، والمندلية كحركة تدل على علم التلاقي . في سنة 1906 ابتكر باتيسون كلمة الوراثة « جيتيك » للدلالة على علم الوراثة الجديد الذي نجح في الحال نجاحاً كبيراً . وتمت تجربة قوانين مندل على عدد كبير من النباتات والحيوانات على يد علماء الوراثة الاوليين : كوينو في فرنسا ، وباتيسون في انكلترا ، ولانغ في سويسرا وكورنس وبور في المانيا ، ونيلسون - اهل في السويد ، وكاستل وإيست وشول وت . هـ . مورغان في الولايات المتحدة .

وابتداءً من سنة 1910 ارتدى علم الوراثة أو الجيتيك مظهراً جديداً على اثر التجارب التي اجريت على دودة الخل (دروزوفيل) أو ذبابة الخل ، وكانت اداة تجربة موفقة (وود ورت ، وو . أ . كاستل ، 1901) ، وهي اداة اختارها . هـ . مورغان . ويفضلها اكتشف مورغان ومعاونوه وك . بريدج ، وأ . هـ . ستورتيقانت ، وهـ . ج . مولر ، التمرکز الصبغي للجينات وأقاموا علم الوراثة الحديث . وبصورة تدريجية استبدلت ذبابة الخل أو الدروزوفيل بفطرزقي اسمه نوروس - پورا ثم باجسام مكروية متنوعة .

وفي الوقت الحاضر يشكل الجيتيك علماً معقداً تمكن قسمته إلى ثلاثة فروع أساسية هي :

- 1- الجيتيك الشكلي والخلوي الذي ينظر في قوانين انتقال سمات الوراثة ويصف الاواليات الخلوية التي تتحكم بهذا الانتقال .

2- الجينيٲك الفيزيولوجي الذي يبحث في انماط المظاهر الجينية [الجينة هي خلية وراثية] ، ويحلل اثر البيئة على المحصول الذي تنتجه الجينات (وهو ما يسمى الجينيٲك الظاهراتي : فينو جتيك) .

3- الجينيٲك التطوري الذي يدرس الانتقال والانتقاء في روابطهما مع التغيرات الكمية والتنوعية لدى الجماعات .

1- علم الوراثة الشكلي

من المسائل الاولى كانت مسألة العثر على طبيعة وعلى تموضع العوامل التي تحدد السمات الوراثية ، والتي أثبتت بعزلها وفصلها بشكل مستقل . لاحظ كورنس وكانون ، وبصورة خاصة المدرسة الاميركية التي نادى بها أ . ب . ولسون مع و . س . سوتون سنة 1902 أن سلوك العوامل المنديلية يتوافق مع سلوك الكروموزومات أي الصبغيات . وقليلأ قليلاً توضحٲت نظرية كروموزومية (صبغية) حول الوراثة ، نظرية تقدم اليوم تفسيراً متماسكاً للوقائع . وقبل المباشرة في انجازات هذه النظرية ، سنعالج مسألتين ملحقٲتين هما : مسألة الوراثة وارتباطها بالصبغية الجنسية أو الكروموزوم الجنسي ، ومسألة ظاهرات التوابط أو الاتصال .

الوراثة وارتباطها بالصبغية الجنسية - دلّ العديد من الملاحظات أن توزيع الجنس مرتبط بتوزيع بعض الكروموزومات عند التنصّف ، أو انقسام النواة إلى نصفيٲن . ومنذ 1891 ، لاحظ هنكنغ Henking أثناء عملية توليد المني في حشرة ذبابة (نصفية الجناح) ، وجود صبغية خاصة دل عليها X ، وهي لا توجد إلا في النصف من المنويات . هذه الصبغية X عثر عليها لدى الحشرات المختلفة ، وربط مك كلونغ في سنة 1901 بين وجودها أو عدمها وبين تحديد الجنس . وقد درس الدور الحقيقي للصبغية X من قبل ولسون وتلميذته من ستيفنس وموريل (1905-1908) .

في سنة 1909 حاول مورغان عبثاً أن يحدث اصطناعياً ، تحولات في ذبابة الخل دروزوفيل أي تغييراً احيائياً . ورصد في مزروعاته تغييراً بالصبغية الجنسية . وبين مورغان أن عمى الالوان في النوع البشري يعزى إلى جينة مختلفة منفصلة تتموضع على الصبغية .

إن الصبغيات المتنافرة ، والوراثة المرتبطة بالصبغية قد أثارت العديد من البحوث . وتتبع مولسو سنة 1912 ، على الحي ، عند حشرة خيطية اسمها « انسيراكنتوس » ، توزع هذه الصبغيات المتنافرة . ولاحظ موهر سنة 1914 توزيعات للصبغيات X لدى مستقيمات الاجنحة .

وفي نمط أول تكون الانثى وحيدة الغامت ويكون الذكر خلافي الغامت ، فيمتلك صبغية X بدون قرين ، أو يمتلك صبغية X مع قرين أصغر اسمه Y . والذكر X Y ربما يكون شائعاً لدى الثدييات (بينتر Painter, 1922-1930 ؛ مينوشي ، أوهاٲا ، ماتى ، أوكوما ، ماكينو ، دي وينوتير) . وفي نمط آخر يمتلك الذكر الموحد الغامت زوجاً من الكروموزومات الجنسية المتماثلة يرمز إليه بحرفي ZZ ، والانثى عندها غامت واحدة Z ، أو زوجاً متفارقاً WZ . هذا الترتيب لوحظ

في التوتياء البحرية وفي الفراشات وعند الطيور والزواحف .

ونقل العديد من السمات يعود إلى الوراثة المرتبطة بالصبغية الجنسية كما تدلّ عليه التلاقيات المتنوعة المحاصلة في ذبابة الخل (كوينو ، مورغان ، الخ) ، وعند الفراشات (دونكاستر) ، وعند الدجاج (غودال ، هاجيدورن ، الخ) ، وعند البط والحمام .

الترابط أو الاشتراك في السمة - إن وقائع الترابط تبدو كاستثناءات على قانون مندل الثاني أو قانون الافتراق المستقل . في بعض الالتقاءات تعود إلى الظهور اشتراكات في السمات المرصودة لدى الجلود ، وذلك بشكل أكثر تكراراً من اندماجها مجدداً .

ومن حالات الترابط الاولى ، ما رصد في الفوم ذي الرائحة (و . باتيسون ور . ك . بونت Punnett ، 1906) . ويقاس زخم الترابط بين الجينيتين ، بنسبة الغامت التي اندمجت من جديد ، أو بالنسبة المثوية لاعادة الاندماج ، وقد اوضح ك . مازر (1938-1951) تقنيات القياس . ويبحث مورغان وستورتيفانت في معنى النسب المثوية المختلفة ، نسب إعادة الاندماج المميزة .

وقد اتاحت آلاف التلاقيات تحديد موضع الجينات . ففي ذبابة الخل تتجمع الجينات المعروفة ضمن أربع مجموعات لا يوجد بينها أي ترابط . وتفسير النتائج المحاصلة على أثر الترابط بين أكثر من جيتين من نفس المجموعة دلّ على أنه يمكن ، بعد تجميع مثل هذه التجارب ، إعادة تكوين الترتيب الخطي للجينات . والنسبة المثوية للاندماجات الجديدة ، مرهونة بالمسافة الخطية الموجودة بين جيتين . وقد امكن تحديد هذه المسافة ، وبالتالي امكن وضع خارطة صبغية (دروزوفيل ميلانو غاستر : مورغان ، ك . ب . بريدج وأ . ش . ستورتيشانت ؛ الذرة : ايمرسون ، ج . و . بيدل ، فرازر) . وهناك اجزاء من خرائط قد وضعت للعديد من الانواع الحيوانية والنباتية . وبدأ وضع خرائط للانسان ، خاصة بالنسبة إلى الكروموزومات أو الصبغيات الجنسية (ج . ب . س . هالدان) .

إن ظاهرات الترابط عامة جداً ، وقد وضعت موضع الاثبات في الذرة وفي العديد من النباتات ، وفي الارنب والفأرة والجرذ الخ . هناك تمثيل أو تصوير شكلي اكثر كمالاً لهذه الوقائع قدّم حديثاً (اوين Owen ، 1950) .

النظرية الصبغية (الكروموزومية) في الوراثة - هذه الفرضية الاساسية كانت نهاية المطاف لنظريات « القسيمة الصغرى » أو التنصيف (ي . ديلاج) التي حاولت ، منذ مويرتويس وبوفون في القرن الثامن عشر ، إن تفسر السمات الوراثية ، بالنقل إلى الولد جزيئات ميكروسكوبية بواسطة الخلايا البرعمية . وهذه النظرية ، التي شارك فيها العديد من البيولوجيين ، الذين يذكروا في تعليمهم ت . هـ . مورغان ومدرسته ، تؤكد أن الجينات تحملها الكروموزومات أو الصبغيات حيث تحتل امكنة محددة اسمها « لوسي » أي الموطن ، وهي مصفوفة خطياً على طول الصبغية .

ومنذ سنة 1909 حاول العالم الخلوي البلجيكي ف . أ . جانسنس Janssens ان يكشف

بواسطة المجهر التفاعليات الوسيطة في عملية الوراثة . وانطلق من ملاحظة وضعت حول الخلايا الجنسية لدى السمندر ، فاقترح نظرية التصالب النمطي : أي تبادل القطعات المتقارنة بين الصبغيات الأبوية والأمومية أثناء عملية التنصّف أو الانقسام النصفى . وفي سنة 1911 عاد مورغان إلى هذه الفكرة وأقام حولها نظرية شهيرة هي نظرية التهجين « Crossing-Over » أو التعابر، وفي سنة 1916 بين بريدج أن التعابر يتم في مرحلة ذات خيوط أربعة . وفي سنة 1931 قدمت أعمال هـ . ب . كريغتون Creighton وب . مك كلينتوك Mc Clintock حول الذرة تأكيداً جديداً وياهاً أساس هذه الظاهرة .

البراهين حول التوضع الصبغي - أن النظرية الصبغية تمتلك قوة كبيرة تفسيرية وبراهين عديدة تؤكد صحتها .

وهناك برهان أول يكمن في التماثل بين عدد الكروموزومات أو الصبغيات الفردية ، وعدد مجموعات الترابط . والتطابق الصحيح هو في أغلب الأحيان طويل على التحقيق . من ذلك في الذرة حيث العدد الفردي للصبغيات يبلغ عشرة ، والمجموع العاشر من الترابط لم يكتشف إلا سنة 1935 من قبل اميرسون Emerson . وهناك برهان آخر تقدمه العلاقات القائمة بين الصبغيات الجنسية ووقائع الوراثة التي ارتبطت بها . وقد دلت كل الأرصاد أن الجنس القائم على اختلاف الغامت وراثياً هو مختلف الغامت أيضاً من ناحية النسيج النووي . وصحة تفسير الوراثة المرتبطة بالصبغية الجنسية قد تقرر بموجب تحقيقات ملموسة تناولت النواة . وهناك خروج على القاعدة نادر وهناك حالات فاتتها الأولية ، أناحت تحقيقات ثابتة : عدم تفارق مع الصبغيات X (بريدج ، 1916) ، سلسلة ذات صبغتين X مرتبطتين (م . ل . ف . مورغان ، 1922 ، 1938) . وهناك برهان ثالث يبرز عند مقارنة الشذوذات الوراثة ، والعوارض النووية في ترتيب وفي سلوك الصبغيات غير الصبغيات الجنسية : استثناءات في عدد الصبغيات رقم 4 عند ذبابة الخل (دروزفيل) .

البراهين على الترتيب الخطي للجينات فوق الصبغيات - قدمت هذه البراهين دراسة تقلابات الصبغيات ، وبصورة خاصة تغيرات أماكنها وتراجعاتها . إن اكتشاف الصبغيات العملاقة في نوى الغدة اللعابية في ذبابة الخل من قبل بريدج وت . بينتر سنة 1933 قد أتاح رصد البنية الحقيقية القابلة للتراكم فوق البنية الافتراضية المقررة سنداً للتتابع الوراثة (وهذه النوى العملاقة قد لوحظت منذ سنة 1881 من قبل بالياني) . ودراسة الصبغيات وبنية ومعنى الصبغ الموحد والصبغ المختلف قد حصلت (شولتز ، كاسبرسون ، دارلينغتون) . وعدد وترتيب الطيات فوق كل صبغية ثابتان ، وقد وضعت خرائط للنسيج النووي مفصلة داخل الصبغيات وتضمنت أكثر من خمسة آلاف رزمة مرقمة (صبغيات لعابية في ذبابة الخل ، بريدج وبريهم 1944) . إن « مواضع » لوسي الجينات ذات 400 تحرك ، قد توضح ، وكل شذوذ في تكوين الصبغيات يترجم شذوذات محددة ، ومعروفة المواضع بدقة داخل الصبغيات العملاقة .

نظرية التهجين - إن واقعة التهجين لا يمكن أن توضع موضع شك . لكن عمليتها لم تكن موضحة . وحول هذه المسألة ذات المظاهر الرياضية المعقدة نوعاً ما (ونشتين weinstein ، ماذر

(Mather) ، كتب لودويغ كتاباً أساسياً . إن بعض العوامل تغير في عدد التهجينات ومنها عمر الانثى ، درجة الحرارة ، أشعة X ، الزيفان الصبغي . إن نظرية التقاطع النمطي التي وضعها جانسنس (1909 ، 1924) ، والتي حسنها بلنغ Belling ودارلنغتون Darlington (1931 - 1933) هي المعتمدة عموماً اليوم : إن التهجين يتم أثناء المرحلة الاستباقية من الانقسام الاول ، عندما تكون الصبغيات على اتصال بنقطة تقاطع (Chiasmata) .

إن الملاحظات الوراثية التي جرت على الفطر من نوع الزقيات تدل على أنه في كل تهجين تتلقى صبغية من أصل أربع ، إعادة دمج ، ويظهر التقاطع وكأنه المظهر النووي النسيجي في تهجين تحاول نظريتان ، نظرية دارلنغتون (1935) ونظرية وايت (1942) أن تفسراً أوليته .

2 - الوراثة الفيزيولوجية

هذا الفرع من الفيزيولوجيات يبحث في كيفية قيام الجينات بتحقيق السمات الوراثية (فيزيولوجيا الجينة) ، وأثر المكان على شكل الجينة فيما يسمى بالظاهرة الوراثية .

مختلف أنماط الجينات - في سنة 1903-1906 بين كوينوه أن سمات تلون الفأرة تتطابق مع حالات عدة تتخذها نفس الجينة ؛ وهذه الحالات المتولدة بفعل التحول هي « مدغوشات » متعددة (كوينوه ، 1928 ؛ غرونبرغ ، 1943) .

إن المضادات (المدغوشات) المتعددة التي تنظم السمات المتنوعة ، قد تثبتت فعلاً : زوال لون العين عند ذبابة البخل (موزغان ، بريدج ، شولتز) ، التلون بلون الأزرق الليلي لزهرة الكتان ، تعدد السفادات اليرقية في حشرة « بوميكس موري » (أوغورا) ، جينات التناقض لدى النباتات العليا (ليوس ، 1949 ؛ غانيو ، Gagneu ؛ 1950) الخ . إن كل موضع « لوكوس » في صبغة ما يمكن أن يحتله أحد المضادات « المدغوشات » من نفس السلسلة .

إن السمة الظاهرية النموذجية تنتج في أغلب الأحيان من التأثير المتبادل بين عدة جينات (مورثات) . والجينات المكاملة ، ذات الطبيعة المختلفة ، تشكل مركباً من عدد متغير من الجينات وجودها ضروري . ونلاحظ وجود جينات رئيسية ، وجينات شرطية ، وجينات مغيرة ، وجينات زخم ، وجينات توزيع .

وبين الجينات الشرطية ، تعتبر الجينة C ضرورية لكل تلوين في ثوب الثدييات ؛ وإذا استبدلت C بجينة أصفر c ، فإن الحيوان يصبح امهق (أي لا لون له) ، مهما كانت جيناته التلوينية . وهكذا يخفي المهاق (أو البهاق) صيفاً جينية نموذجية متنوعة ؛ وقد ثبت كوينوه من هذه الظاهرة وسميت « كريبتو ميري » من قبل تشرماك .

وتمارس جينات نظرية ، ذات طبيعة مختلفة نفس العمل ، ومفاعليها تندمج وفقاً لمناهج الجبر . هذه الجينات - المسماة « المتعددة الأمهات أو الأصل » (پوليمير) (لانغ) ، ومتماثلة الأصل (پلات Plate) ، الخ - تتحكم بالعديد من السمات الكمية التي تبدو بنسب مختلفة عند المهجنات .

إن الجينات المتعددة المفعول تتحكم بمظاهر خارجية متعددة . وقد سبق ورصدها مندل ، وقد شوهدت في الفاصوليا (جوهانسن) ، والشوفان ، وعند ذبابة الخل ، والفيزون ، الخ . وفي حالة تعدد المفاعيل ، كثيراً ما تحدد الجينة مفعولاً رئيسياً ، والاستثناء المنطلق يثير سلسلة من المظاهر الثانوية والثالثية .

وأول حالة من حالات الموت اكتشفها كوينو سنة 1911 .

فقد عرف المربون منذ زمن بعيد أن الفئران الصفراء تشكل عرقاً لا يلين ؛ والفرضية ، التي صاغها كوينو ، ومقادها أن الفئران الصفراء متماثلة العوامل الوراثية غير قابلة للمعيشة ، تأكدت بفضل مراقبات كيركهام . فالجينات في حالة « تماثل العوامل الوراثية » تتفاير مع الحياة ، ولكنها في حالة التغاير تولّد جينات مميتة مسيطرة . إن الجينات المميتة المنتجة المتراجعة والتي لا تظهر في حالة التغاير ، كثيرة الحدوث .

الزخم والخصوصية - تظهر بعض الجينات دائماً ، في حين أن أخرى تبدل غير ثابتة ، في تواتر ظهورها وفي درجة تحققها . أشار تيموفيف - ريسوفسكي (1925) بكلمة تعمق أو نفاذ إلى تواتر ظهور جينة وبكلمة « تعبيرية » أو وضوح إلى درجة تحققها . وقد حُدّدت أيضاً خصوصية الجينة ، التي تترجم بحقل الظهور وبأسلوب توسع للسمة . إن الجينات المتنوعة المغيرة التي تشكل الوسط الوراثي « الجيني النمطي » (تيموفيف) تؤثر في النفاذ وفي الوضوح في الجينات . إن هذا التأثير المتبادل يتبع للجينات المتنوعة أن تشارك في نفس تفاعلية النمو .

علم الوراثة الظاهرية أو دراسة التأثيرات الشكلية لمادة الوراثة - يدرس هذا العلم بشكل منهجي تأثير الوسط والمكان (الوسط الخارجي والوسط الداخلي ، والجينات الأخرى ، أو الوسط الجيني النمطي ، والهormونات) على تحقق السمات .

فالرطوبة ، ودرجة الحرارة ، والمواد الكيميائية تحدث أثراً في ظهور العديد من الجينات ؛ مثلاً الكولشيسين (غبريل) ، والانسولين (لاندوير) يغيران إلى حد ما تكاثر زرع الأصابع [زيادتها] في الدجاج بحسب حقبة التطبيق . يرى غولدشميت أن بين الجينات والمظاهر النمطية الوراثة تتدخل سلسلة من التفاعلات يمكن تغيير سرعاتها بواسطة العوامل الخارجية .

هناك مثل ملقت للنظر في مجال التفاعل بين الجينات والوسط تُقدمه النسخ الظاهرية (Phénocopies) [أي ذات التغير الوراثي] ، إن إخضاع الأجسام الحية ذات النمط الوراثي الطبيعي السوري لتأثير الصدمات الفيزيائية أو لتأثير بعض المواد ، يتم الحصول على أفراد يحملون شذوذات هي من دلائل بعض الجينات (غولدشميت) 1935 ؛ لاندور Landauer ، هادورن (Hadorn) .

إن التأثير المتبادل للجينات ، أو تأثير المكان النمطي الوراثي ، يظهر في سلوك الجينات المدغوشة وغير المدغوشة .

مفهوم الغلبة أو السيطرة - إن تقدم علم الوراثة (جينيتيك) قد بين أن مفهوم الغلبة المطلقة (أول قانون من قوانين مندل) ليس عاماً . في أغلب الاحيان تظهر بشكل غير كامل جينة مسيطرة ، بشكل مختلف الاقتران . وتمثل المهجنات عندئذ نمطاً وسيطاً . إن الغلبة والتراجع لا يمكن أن يعتبرا كصفات ضمنية كامنة في الجينات فهما قد ينطلقان بفعل عدة عوامل : السن ، درجة الحرارة ، الهرمونات الجنسية . ولا تلعب التغيرات دوراً في بنية الجينات بل في التفاعلات التي تطلقها (تجربة بيدل وكرونزاد على النوروسبورا) .

ووضعت نظريات مختلفة حول الغلبة . ولا تقدم النظرية القديمة التي وضعها باتيسون ومس سوندرس Miss Saundres (1902) حول « الحضور - الغياب » (الصفة الايجابية المسيطرة تتوافق مع وجود جزئية خاصة ، والصفة السلبية التقهقرية تتوافق مع غيابها) ، إلا فائدة تاريخية ؛ إن سلاسل المدغوشات المتعددة ، والتقلبات المرتدة قد قضت عليها . في سنة 1917 ، صاغ ر . ب . غولدشميت نظرية فيزيولوجية حول السيطرة : إن هذه تتنوع بتنوع السرعات النسبية التي ترتديها التفاعلات المحددة لجينات ذات قوة مختلفة . وهي وإن لم تحل كل المسائل ، فإن هذه الفرضية تبدو مرضية نوعاً ما من الزاوية الفيزيولوجية . هناك نظريات أخرى تعالج السيطرة في علاقاتها مع تطور الاجسام . في نظر ستانفوس (1910) ، تعتبر السمات الغالبة هي الاقدام عرقياً . وفي نظر دافنبورت (1906) تمثل السمات الغالبة أعلى درجة من التطور . ويرى رايت (1929-1934) وهالدان (1930-1932) أثر الانتقاء على المدغوشات في الجينة . وفي نظر فيشر (1928-1932) ، تطورت السيطرة بصورة تدريجية ، نتيجة انتقاء جينات منيرة تنزع إلى إحلال التماثل بين مختلف الاقتران والجنس . وهذه الاخيرة تعبر عن سمة جديدة تكون غالبية .

مفعول الموقع - يتعلق نشاط الجينة ليس فقط بقوتها ، وبوجود الجينات المغيرة ، وبالوسط الوراثي النمطي ، بل وأيضاً بموقعه داخل الصبغية . إن اثر الموقع قد أوضحته أرصاد سنورتشانت (1925) ، ثم أرصاد دويرانسكي ، ودوين ، ومولر الذي بينوا أن جينتين لا تحدثان نفس الاثر ، بحسب ما إذا كانتا ضمن صبغيتين أو ضمن صبغية واحدة . وبخريطة الهندسة (الترتيب) الصبغية ، تحدث أشعة X نفس المفاعيل .

عمل الجينات - إن تحليل تحقيق النمط الظاهري قد كشف عن التفاعليات الفيزيولوجية أو الكيميائية التي تتحكم بظهور سمة ما . لقد بين موسى ومدرسته أن بعض الجينات ، داخل الخزار الأخضر المسمى « شلاميدوموناس » ، تؤثر بواسطة انزيمات خصوصية تسهل عمليات التفاعل البيوكيميائي ، فتدخل جينات متنوعة في المراحل المتتالية ضمن سلسلة التفاعلات .

إن بعض الافعال المتشابهة قد ثبتت من قبل بيدل ، عند فطور « النوروسبورا » . وعندما تم سلسلة التفاعلات ، بشكل طبيعي ، فإن المنتوجات الوسيطة تصعب على التبين ، ولكن عندما يخرق تحول ما السلسلة ، فإن المنتوج الوسيط يتراكم ويمكن عندئذ تميزه (هورويتز) . إن المراحل المتتالية في تركيب الميثيونين ، والايزولوشين - فالين ، والهوبرين والبيريميدين ، قد توضحت ؛ إن تكاثر الانزيمات الضرورية يقتضي عدداً مرتفعاً من الجينات .

وتعمل الجينات في بعض الاحيان بواسطة مواد خصوصية مشابهة نوعاً ما للهرمونات (بیدل Beadle وأفروسي ، 1935) . وهناك أعمال أخرى للجينات أصبحت معروفة أيضاً ، خاصة في التطور ، وهي ظاهرة ناشطة يلعب فيها التركيب الجيني دوراً أساسياً إلى جانب عنصر الزمن . إن بعض الخصوصيات البنيوية قد تحددت بفعل أعمال فيزيائية أو كيميائية (تلون الفرو عند أرانب الهملايا ، كوفمان ، 1925 ، عدد أوجه عين ذبابة الخل ، شوفي Chevais) .

الوراثة عند الاجسام الميكروسكوبية - إن هذا العلم ، الحديث جداً ، قد حقق تقدماً ضخماً بخلاف السنوات العشرين الأخيرة . إن الاجسام المجهرية ، تشكل مادة ذات قيمة بسبب سهولة الزراعة ، واقتصار الدورة المولدة ، والتغير الزاخم ، والحالة فردية المنطش التي تبسط التحليل الوراثي . إن اكتشاف التقلات أو التحولات الموجهة ، ثم اثبات الاختلاط الوراثي من جديد بين أرومتين من « اشيريشياكولي » (أ . ل . ناتوم ، وج . ليدبرغ ، 1946) ، يدلان على نهضة علم الوراثة البكتيري .

إن إثبات دور آ . د . ن (A. D. N) في التحولات البكتيرية ، قد حفز دراسة الحوامض النووية . واقترح واطسون وكريك (1953) نموذجاً لبنية آ . د . ن . أصبح كلاسيكياً . اكتشف زندر وليدبرغ (1952) أسلوباً خاصاً في التبادل الوراثي يحمل بواسطة بكتيريوفاج جزءاً صغياً من المضيف لينقله إلى بكتيريا أخرى . هذه الظاهرة قد رصدت لدى العديد من الاجسام المجهرية .

إن تأثير الجينات على طبيعة وعلى كمية الانزيمات المولدة من قبل الاجسام الميكروسكوبية ، كان موضوع دراسات تجريبية (جاكوب ، برين ، سانشز ، مونود ، 1960 ؛ الخ) .

إن التزاوج ، لدى ارومة اشيريشياكولي ، قد اتاح تمييز انماط « معطية » مولدة للجينات « ومتلقية » للجينات ؛ والمولدات التي تقدم فقط المادة الوراثية تعتبر كذكور ؛ وتعتبر المتلقيات التي تساهم في نسخها النووي ، وبواسطة مادتها الوراثية في تشكيل اللاقحة ، اناثاً .

ويملك نمط البكتيريا المعطية (F^+) و Hfr (كافالي ، في إيطاليا ، ليدبرغ في الولايات المتحدة ، وهيس في بريطانيا) العنصر الاثوي F ؛ في (F^-) ، يكون العنصر الاثوي F خارج الصبغية ، أما في (Hfr) ، فهو مثبت في الطرف الأقصى من الصبغية البكتيرية . ونجح ولمان و جاكوب في بناء معادل خارقة وراثية للصبغية . إن العنصر الاثوي F ينظر إليه كجسم سطحي ، أي كجزء وراثي قادر على الوجود بأن معاً في النسيج النووي وفي الصبغية (ف . جاكوب وأ . ل . ولمان ، 1958) .

إن علم الوراثة عند ملثمات الجرثيم هو في أوج ازدهاره . واسلوب التلوث ، وتطور الأكال قد حُفلا (هرشي وشاز) . واعطت بكتيريا ملوثة تبعاً بنمطين من الأكال المتنقل ، سلالة مؤلفة من انماط ايسوية ومن 0.1 إلى 40 % من الأكالات المدموجة من جديد . إن تولد الانحلال الذي وصفه أولاً بوردييه وشياكا (1921) كان موضوع أعمال حديثة . وبحسب أثرها على

الصبغيات عند المضيف ، تنقسم الأكتالات إلى ثلاث مجموعات (لوف) .

إن علم الوراثة الميكروبي يساهم مساهمة مزدوجة بالكيمياء الطبية : تحليل الحساسية ضد المضادات الحيوية ، وبالتالي مقاومتها لهذه المضادات الحيوية بالذات ، ودراسة الاولية البيوكيميائية لاثر المبيدات البكتيرية .

الوراثة غير الصبغية - من المقرر أن الجينات تعمل بالتعاون مع البلاسما النووية . إن الهجائن المتبادلة ، المنبثقة عن التلاقي بين الأنواع الفرعية ، وبين الأنواع والأصناف تظهر فروقات تكبر كلما كان الآباء أبعد في سلم التصنيف ؛ انها تشبه أكثر النمط الأمومي (الميل الأمومي) . هذا التفارق يوحي بفرق في تكوين البلاسما النووية التي تقدمها الاناث .

وتعتبر بعض الأعمال حول الهجائن المتبادلة المختلفة كلاسيكية : كاعمال ف . فون وتستن حول الخزار (1924 - 1928) ، واعمال ميكابليس ، وغولد شميدت ، وكوهن ، وج . كوزان . إن وراثة السرطان ، عند الفئران (موراي وليتل ؛ 1935) تدل على أثر العوامل ، غير الصبغية وذات طبيعة غير مؤكدة : بلاسما نووية ، انتقال مواد اثناء الحمل أو الرضاعة (بيتنر ، Bittner ، 1939) . إن الفروقات النووية لا تظهر حقاً إلا في التلاقيات بين الانواع . وعندها يوجد تناقض (لا تلازم) بين البلاسما النووية وبين الجينات .

يفترض بعض المؤلفين ، في البلاسما النووية ، وجود عناصر مماثلة لجينات النواة ، هي الجينات البلاسمية ، المزودة بتناسل ذاتي والقادرة على الانتقال ذاتياً . وهناك فرضيتان أخريان : فرضية التوازنات في الدفق (مونو Monod ، وكوهن) ، وفرضية البندرة (جرم) أو المُطْلَقَات ، عُرضتا أيضاً . إلا أن أي تأويل عام لا يعطي تفسيراً مرضياً عن الوقائع الوراثية غير الصبغية .

نظراً لندرة هذه الوقائع ، فإن بعض الحالات المعروفة قد أصبحت كلاسيكية (باراميسين أو المستطيلة « القاتلة » ، سونيورن ؛ دروزوفيل : « ذبابة الخل » حساسة تجاه الأنيدريد كاربونيك ، ليريتيه L'Héritier ، 1957 ؛ النقص الكلوروفيلي ، عند النباتات الخضراء ، ميكابليس ، 1954-1958 والأوغلين [حيوان من خلية واحدة ، مائي] ، ديكن - غرينسون ، 1960 ؛ القضاء على النموي النباتات العليا ، ميكابليس ، ادواردسون ؛ الناقلات للعدوى عند الفطور الدنيا (ريزت ، 1952 ؛ كوزن ، 1961) ؛ نقص التنفس في الخميرة ، افروسي ، سلونيمسكي ، يوتسوباناجي ؛ « وراثة بلاسمية نووية » ملحوظة بخلل المراحل السوطية ، في السالمونيل ، ليدريغ ، 1956) .

3 - الوراثة التطورية

إن الجهاز الصبغي قادر على التغير الفجائي ، الوراثةي الخالص ، الذي يسمى التحول ، والذي يترجم بتغيرات شكلية ، وتشريحية وفيزيولوجية . ونفرض بين التحولات الجينية التي تتناول تركيب معينة والتحولات الصبغية التي تتناول إما ترتيب ونية الصبغية وإما عدد الصبغيات .

التحولات الجينية - إن الامثلة العديدة حول التحولات الجينية ، الفجائية ، في مختلف

انواع اللاققریات والفقریات ولدى النباتات ، قد اُحصيت في العديد من المؤلفات . إن حسابات شتاتلر تدل على أن معدل تحول جينات الذرة ضعيف ؛ والمعدل الجاري السائد في الدروزوفيل هو من عيار واحد على مليون .

إن دراسة ظاهرة تمثل هذه النادرة صعبة للغاية ، ويحاول التجريبيون أن يتخلقوا اصطناعياً التحولات . وكانت التحولات التجريبية المسجلة ضمن ظروف مراقبة جيدة قد تمت على يد هـ . ج . مولر سنة 1927 ، بأثر أشعة X على ذبابة الخل دروزوفيل .

إن معدل التحولات المستحدثة ، الذي حددته تيموفيف - رسوفسكي وپاترسون ، قد بدا حتى 150 مرة أكثر ارتفاعاً مما هو في الصفوف المتخذة كمعايير . إن كل الإشعاعات المؤتة ، تتمتع بمثل هذه الخاصية ، ومفاعليها قد توضحت نوعياً وكمياً . إن غالبية التحولات الإشعاعية تبدو مهلكة ؛ وبعضها قابل للمعيشة ، وشبه التحولات الفجائية . إن النتائج التي توصل إليها مولر قد توسعت بسرعة فشملت أنواعاً أخرى حيوانية ونباتية . إن انفجار القنبلة الذرية في جزر بكني سنة 1947 أثار في حبوب الذرة تحولات جينية في حدود 50% .

إن بعض المستحضرات الكيميائية تمارس أثراً ناقلاً . في سنة 1949 بين أوبراخ Auerbach وروبسون الأثر القوي الذي يحدثه غاز المونارد (إيبيريت) ؛ والسولفاميد (شيفس وتوماس) ، والسولفون ، والابوتان والديتيلبوسترول ، والفينول (هادورن ، تيغلي) هي عوامل ناقلة ناشطة ، الخ .

التحولات الصبغية - بينت المدرسة الأميركية حول الدروزوفيل ، إن التغيرات البنيوية الناتجة عن انشقاقات داخل صبغية واحدة تولد انعكاسات أو ارتدادات ، وتولد تخلفاً ، أو ازدواجاً أو انتقالات بسيطة ؛ والانشقاقات التي تصيب صبغيتين غير متجانستين تحدث تغييراً في الأماكن متبادلاً .

إن التغيرات العددية في الصبغيات هي امادويان واما تشقق في الصبغية ، أو في البوليلودي (تعدد الصبغة) ، بوليسومي ، وفي الهابلودي . ولتفسير هذه الذبذبات في الاعداد الديلودية داخل الصبغيات حول معدل وسط ، بين روبرتسون ، منذ سنة 1926 ، أهمية ظاهرات الذويان .

ومنذ 1937 أصبح بالامكان استحداث تحولات بوليلودية ، عن طريق التجريب .

عالمج بلاكسلي واقيري الجذور والبراعم بواسطة محلول الكولشيسين الذي يفكك التقسيم الخلوي ويؤدي إلى تشكل خلايا بعد مزدوج من الصبغيات ؛ وإذا كانت الانسجة الجرمنية مصابة ، فإن الشذوذ يكون وراثياً ، ويتولد عنه تترابلويد . وقد استغل سيمونت هذا التعدد في الصبغيات المتولدة تجريبياً ، والذي يحدث أنواعاً ضخمة ويولد هجائن ذات انواع مستقرة وخصبة . وهناك مواد أخرى تحدث أيضاً التكاثر في الصبغيات مثل : (نيتيل - لوريشان ، باراديكلور بانزين ، الكافور ، انتيرين ، حامض اندول - اسيتك . . .) .

هذه المستحضرات الكيميائية المتنوعة قلما تكون ناشطة في الحيوانات . إن تغيرات درجة

الحرارة تبدو أكثر فعالية . وبرودة البيضة في مختلف انواع البرمائيات : مثل الضفدع (ج . روستاند) ، والتريتون (فانك هوسر وغريفث ، وفيشرغ وهامفري) ، تحدث ظهور افراد ثلاثي الصبغات (تريلويد) ؛ وتحمية البيضة تحدث نفس المفاعيل (فانك هوسر وواطسون ، 1942) . واستطاع بريغس أن يحدث صفادع امريكية تريلودة . وحصل بنكوس وواينغتون ، وتيولت على بيضات متعددة الصبغات في الأرنب ، ولكن التطوير لم يصل إلى نهايته . فقد حصل يتي وفيشرغ (1949) على أجنة ثلاثية الصبغات في الفئران ، عاشت تقريباً نصف مدة الحمل .

وتعدد الصومات (بوليسومي) يتميز بإضافة عدة صبغيات اضافية إلى العدد الديلويد أي الثنائي الصبغيات . لاحظ بلاكسلي سنة 1915 أول ناقل بوليسومي عند « الداتورا سترامونيوم » . ووصف فيما بعد عدداً من التحولات البوليسومية متأينة من تضعيف الصبغة الكاملة ، كما اكتشف ثنائيات وثلاثيات تريسومية . والسومية المتعددة كثيرة الحصول في مختلف النباتات ولكنها نادرة عند الحيوانات (الدروروفيل ، الخ) .

وقد أمكن استحداث تحولات موجهة في بعض الاجسام الوحيدة الخلية : إن السمات المولدة للمضادات أو الأنزيمية في عرق A ، من مكروب ما يتكاثر عند اتصاله بجث من عرق B من ذات المكروب ، تتغير وتكتسب سمات العرق الثاني (بنوموكوك : غريفث ، 1926 ؛ وحالات أخرى ، ويل Weil وبوافين Boivin) .

وبالنسبة إلى بيدل Beadle تمثل التحولات الموجهة « اكبر تجديد في العصر ، في مادة الوراثة » . والعنصر الحاث على التحول هو الـ ADN ، الذي يحدث اثرأ خصوصياً (افيري Avery ، مك ليود MacLeod ، ومك كارتني Mac Carty 1944) . وبين هوتشكيس Hotchkiss سنة 1954 إن الخلايا لا تتحول إلا خلال مرحلة من النمو . ومعدل التحول هو 1/1000 ، في حين أن المقاومة ضد الستربتوميسين ، الذي يولده الـ ADN ، يبلغ معدلها 3% . وتوحي التجارب المختلفة أن المعلومات العامة موجودة فقط في قسم من الجزيء (لا تارجت ، افروسي - تايلور ، ريبيرث) . وحتى هذا الحين لم تحصل التحولات الشهيرة الموجهة ، في الفعريات . والنتائج المرصودة بخلال التجارب التي قام بها بنوا Benoit ، وليروا Leroy ، وفاندريلي Vendrely ، سنة 1961 حول البط ، هل تتلاءم حقاً مع مثل هذا التحول ؟ في الوقت الحاضر لا شيء يسمح بتأكيد ذلك .

القيمة التطورية للتحولات - الكثير من التحولات الجينية هي امراضية أو مميته ، وتزول بموت الاجسام التي أصيبت بها . والتحولات تبقى تتناول سمات ذات أهمية ثانوية ، وهي في أغلب الأحيان في منشأ اعراق من الحيوانات الأليفة ومن النباتات المغروسة : أعراق جغرافية ، أنواع فرعية (سومر) وحتى أنواع بالذات . إن التحولات الصبغية تساهم أيضاً في ولادة أشكال جديدة .

وقد تناولت البحوث بشكل خاص ذبابة الخل لما فيها من صبغيات ضخمة تسهل عملية الرصد (ستورتفانت ، دوبرانسكي ، وايت ، الخ) . وقد احتيج إلى خمسين بل وإلى مئة انشقاق صبغي ، للحصول على تفريق ثلاثة أنواع من الدروروفيل : هي سيراندا ، بسودو - اوسكورا ،

برسيميليس ، انطلاقاً من مخزون مشترك .

وأدت تغييرات في الاماكن بين الصبغيات III و II ، من دروزوفيلاميلانوغاستر إلى توليد متحول هو دروزوفيلارتيغيسيليس ، قام به غولدميدت ، وهذا المتحول هو شكل متارجح ومستقر ، وعقيم إذا اجتمع بالميلانوغاستر العادي . إن تغييرات المكان ، الكثيرة الحدوث لدى النباتات (اينوتير ، داتورا ، ذرة) هي في أساس الانواع الجديدة .

لقد ولدت البوليلودية وخاصة التترايلودية أنواعاً جديدة هي : بريمولاكوانزيس (كوتس) ، ديجيتاليس مرونانيسيس (بوكستون ، دارلينغتون) ، الملفوف - الفجل (كارينشكو) اجيلوتريكوم (تشرماك) ، ايريس (السوسن) (سيمونت) ، التبغ (كلوزن وغودسبيد) ، كريس ارفيسيسالس (بابكوك...) لقد استطاع المجرب أن يحقق توليد انواع جيدة طبيعية : تبغ مزروع (بريجر) ، غالوبسيس تراثت (مونترينغ) ، فليول اميركا (غريغور وسانسوم) .

إن المشتق الجديد الذي ظهر يجب أن يستمر وأن يتكاثر . وهناك عاملان جديداً يتدخلان عندئذ : الانتقاء وعدد الجماعات . والمشتق الجديد عند ظهوره يمكن القضاء عليه . فإن لم يتم القضاء عليه تشكلت عدة لاقحات متنوعة وعندئذ يأخذ الانتقاء يلعب دوره إما مباشرة وإما بعد ولادة اللاقحات المتشابهة ، بحسب ما إذا كان التحول مسيطراً أو تفهقراً .

ولدراسة هذه التفاعلات قام علماء بالوراثة مختلفون (امثال : ليرته ، ويسيه ، رايت ودويزانسكي ، وكالموس ، الخ .) بادخال مشتق جديد معين ضمن مجتمع مصطنع من الدروزوفيل ، في المختبر ، وذلك من أجل تحديد القيمة الانتقائية لنمط مخلق ، بالنسبة إلى نمط آخر . وحدد فيشر وهالدان ، ورايت هذه القيمة بانها العلاقة بين احتمالات العيش بعد الجيل التالي . وتبنيوع شروط التنشئة ، يمكن تحديد مفاعيل المنافسة ، ودرجة الحرارة والرطوبة الخ . وقد تم تحقيق تجارب مماثلة على المركبة المسماة تراكساكوم اوفيسيتالي في لينينغراد .

إن الجماعات الطبيعية تتمتع بثلاثة امكانات ؛ بحسب ما إذا كان المشتق أدنى أو مساوياً أو ارفع من النموذج الطبيعي ، فهو لا يتعايش مع هذا النموذج أو يعيش إلى جانبه أو يحل محله . ومنحنى التغير في الجماعة هو مجموع منحنيات كل نمط عرقي يؤلف هذه الجماعة ؛ واستمراريته المصطنعة تخفي وجود أنماط عرقية متقطعة ؛ ودراسة المتوسطات تتيح معرفة منحنيات التغير لدى مختلف الأنماط العرقية . وقد درس فيشر ، وهالدان ، ورايت ، وماليكوت ، بصورة كمية ، الدور النظري للعوامل التطورية : انتقال ، انتقاء ثم عدد الجماعة .

إن مفعول الانتقاء ، السريع بالنسبة إلى الجينة ذات التواتر المتوسط ، هو أبطأ بالنسبة إلى التواترات الجينية الصغيرة والكبيرة . إن البحوث حول البنيات الوراثة في الجماعات الطبيعية الحيوانية أو النباتية ، دقيقة للغاية . والنتائج الحاصلة ، لدى لاموت (1951) مع جماعة « سيابا نيموراليس » تعترف بدور اساسي للتحولات في حالات الشكليات المتعددة ، وفي حالات توازن المستعمرات .

ويبدو مفعول التحول أكثر أهمية من مفعول الانتقاء في حين أن الفكرة المعاكسة تبدو أعم قبولاً .

4 - الوراثة البشرية

وفي النهاية ننظر إلى المكتسبات الرئيسية في مجال الوراثة البشرية التي كان من طلاعتها غالتون ، وبيرسون وغارود . فالإنسان يمثل مادة سيئة من أجل الدراسة (عدد مرتفع من الصبغيات ، انعدام الصبغيات العملاقة ، ثم استحالة التجريب ، وتوجيه التلاقيات) . ولكن قوانين مندل ذات مدلول عام ، والوقائع المقررة لدى الحيوانات تتيح فهم الظواهر البشرية ؛ إن الشروط الامراضية في الحيوان وفي الإنسان هي في أغلب الأحيان متجاورة تماماً ؛ لقد درس غرونبرغ Grünberg بالتفصيل الامراض الوراثية في القواضم واستنتج منها ملاحظات ثمينة بالنسبة إلى الجنس البشري . ومنذ البحوث التي قام بها ت . بنتر (1923) أصبح من المقبول بان الإنسان يمتلك 48 صبغية (46 صبغية مستقلة وصبغيتان جنسيتان) . في سنة 1956 تعرف تيجو Tjio وليقان ، بفضل تقنية حديثة على 46 صبغية فقط (44 صبغية مستقلة وصبغيتين جنسيتين) ؛ وبعد دراسات طويلة ، تبين أن هذا العدد صحيح .

وبحسب الضخامة وبحسب مكان « السيتوكور » ، فإن كل صبغية تأخذ رقماً من 1 إلى 22 . والصبغيات ذات المظهر الخارجي المتشابه تنتمي إلى نفس المجموعة . ثم تصف بعدها زوجين زوجين وفقاً لترتيب الترقم ، فتشكل الصبغيات النموذج المحتمل بالنسبة إلى الفرد الذي تظهر عليه الشذوذات النوعية والكمية بسهولة .

وبعض البحوث حول الوراثة البشرية تبدو أكثر حداثة بشكل خاص ⁽¹⁾ . إن التقدم الحاصل في دراسة الدم : شكلانية الكريات وخصائص مختلف أنواع الهموغلوبين ، هو في أساس الأعمال المخصصة لمختلف أشكال النزف الدموي (ماك فرلان ، سوليه ، برنارد ، الخ .) ، وبعض أنواع فقر الدم drépanocytanémie (نيل ، بولنغ ، ستانو ، ويلز ، بيسيس) ، وفقر الدم المتوسطي الصغير والكبير ، ثم شذوذ پلغر - هويت Huet . إن فئات الدم الكلاسيكية ، ونظام ريزوس ، وفئات الدم النادرة كانت موضوع تحليلات عميقة ، نظراً لما لها من أثر في الطب وفي الاستطباق وفي الطب الشرعي ، وفي مجال الاناسة (انثروبولوجي) .

إن الاخطاء الخلقية الولادية ، داخل ايض مختلف المواد تبرز سلاسل التفاعلات في الجينات ، وحمية عدة شذوذات أو أمراض وراثية مثل الامراض البولية على أنواعها (ألكايتونوريا ، والثيروسينوزيا ، والاضطرابات في الغدة النخامية ، والبليلة السييتينية ، والاضطراب الايضي في الغلوكوجين ...) .

1) راجع أيضاً الفقرة 1 ، الفصل II ، القسم الخامس .

إن أمراض الصبغيات البشرية ، أو الأمراض الصبغية ، وهي مظهر حديث من مظاهر الوراثة البشرية ، ذات إبعاد عريضة .

في سنة 1959 اثبت توربين ، لوجون وغوتيه ، وجود صبغية اضافية لدى الأفراد المصابين بالمنغولية ، وهي مرض وصف منذ سنة 1866 ، ولكن ملكه كان ما يزال غامضاً . فالمنغوليون يمتلكون سبعة وأربعين صبغياً ، (بدلاً من ستة وأربعين) والصبغية الاضافية هي صبغية مستقلة ، وإذا هناك ثلاثية في الصومات Soma ناتجة عن عدم توافق بين صبغيتين متجانستين ، في واحدة من « غاميت » أحد الابوين . ومنذ ذلك الحين ، اشير إلى امثلة اخرى من امثلة التركيب الصبغي الضال ، فيما يتعلق اما بالصومات المستقلة أو بالصبغيات الجنسية (اعراض كلينيفلتر ، وميزتها وجود صبغية X اضافية ، جاكوبس وسترونغ ، 1959 ؛ اعراض تورنر وميزتها عدم وجود صبغية X) . إن أخطاء العمل ، في توزيع الصبغيات القرباوية ، هي المسؤولة إذاً عن المعجز أو عن التخلف .

وتأثير المكان الامومي على تطور المضغة له أهمية كبيرة . إن بعض الأمراض الوبائية الامومية تبدو مخيفة بشكل خاص : مثل الحميراء (فوكس ، بورتين ، 1946) ، التسمم في البلاسما (توسكا بلاسموز) ، ابوكعب ، الخ .

واستعمال بعض الادوية له في بعض الاحيان انعكاسات مأساوية . من ذلك الشاليدوميد ، وهو مثل حديث مؤلم للغاية (1962) . إن اوالية هذه الصدمات غير الوراثة (عرضية ظاهراتية) ما تزال مجهولة .

وتتيح المقارنة الدقيقة بين التوائم الوصول إلى تمييز بين ما يعود إلى التكوين الخلقي الوراثي ، وما يعود إلى الوسط : وتقدم المقارنة حلاً للمسألة التي ما تزال قيد البحث حول « الطبيعة » والنشئة اللتين قال بهما المؤلفون الانغلو سكسون . ومنذ أواخر القرن التاسع عشر باشر غالتون بحوثاً منهجية حول التوائم . ووضع سيمنس (1924) العناصر الأولى لهذه الطريقة ، وقامت استقصاءات واسعة تتناول العديد من ازواج التوائم الحقيقيين والمموهين ، في العديد من البلدان (نيومان ، فون فرشور ، جيداً) . إن الولادات المتكاثرة قد حلت بكثير من الدقة . والحالة الشهيرة حالة التوائم الخمسة ، توائم ديوني ، قد تسببت بالكثير من الكتابات (مك ارثور Mc Arthur وفورد Ford) .

وأخيراً وفي الوقت القريب اثيرت مسألة التحولات المستحدثة عند الانسان بفعل الاشعاعات . إن احتمال ظهور تحول عند الفأرة ، هو أكبر بعشر مرات عما هو عند ذبابة الخل . فما هو سلوك الانسان ؟

نشر نيل Neel الملاحظات حول اولاد « القبيلة الذرية » الذين ولدوا في اليابان من إباء وامهات ملوثين بأشعاع . إن الاسراف في التعويض للفحوص الاشعاعية ولللاستشفاء بالأشعاع يزيد بشكل ضخم من مقادير الاشعاعات ؛ وقد كانت الاحصاءات المقررة (توربين ، لوجون ، وريثور ، وتاناكا ، واوهكورا) ذات دلالة .

وقد خصصت محاضر المؤتمرات الدولية المختلفة لهذا الموضوع المهم (المؤتمر الدولي للاستعمال السلمي للطاقة الذرية ، جنيف ، 1958 ؛ اللجنة العلمية التابعة للأمم المتحدة حول آثار الإشعاع الذري ، نيويورك 1958 ؛ المجلس البريطاني والمنظمة العالمية للصحة ، 1959) .

إن تراكم مخلفات الانشطار النووي في الخزائر البحري وفي النباتات البحرية وفي الأسماك المهاجرة ذو خطر حقيقي . فالأسماك المهاجرة قد تنقل إلى مسافات بعيدة العناصر المشعة المتجمعة في أجسادها . وبواسطة العديد من الوسائل تنتقل هذه العناصر إلى الجسم البشري .

هذا الخوف من المستقبل حمل العلماء على وضع معايير مقبولة معبر عنها بقياس الأثار البيولوجية المسمى رام Rem (وهو اختصار لكلمات Röntgen-Equivalent-Man) . إن مقياس رام تمثل الكمية القصوى بالنسبة إلى الحياة البشرية : خمسين على الأكثر حتى من التناسل وخمسين بخلال العقود الثلاثة التالية .

II - التطور

يرتدي كل بحث في التطور مظهرين : دراسة واقعة التطور بالذات ، ودراسة النظريات التفسيرية للتطور .

واقعة التطور : براهينها وانماطها - يفترض التطور استمرارية العالم الحي ، واشتقاق الأشكال الحيوانية والنباتية بعضها من بعض بواسطة البنية . وقامت براهين متنوعة في الربع الأخير من القرن التاسع عشر . وظهرت براهين جديدة مع تطور البحوث خاصة بفضل علم الاحاث ، وعلم الكيمياء الحيوية .

وبفضل ساعة النشاط الإشعاعي أصبح من الممكن التقدير التقريبي لعمر الأرض ولعمر الصخور التي تؤلف الأرض (راجع دراسة ر . فورون الفصل III القسم الثالث) . إن وجود الكربون المشع في كل الكائنات الحية يشكل « آلة لقياس الزمن الماضي » . والتطائر المستقرة من الكربون (كربون 12 وكربون 13) تتيح اكتشاف الطبيعة العضوية والمعدنية ، لبقا من البقايا المتحجرات .

وفي المركبات العضوية والنباتية والحيوانية تشكل النسبة $\frac{^{12}C}{^{13}C}$ ما يعادل 90.1 إلى 92.5 بالمئة في حين أن في المركبات الركازية (بما فيها الاصداف) هذه النسبة تتراوح بين 88.7 و 89.5 بالمئة . وهكذا نجح رمكانا في اثبات الطبيعة العضوية لمتحجرة من الشيست البدائية الاثرية في فنلندا يعود تاريخها إلى 1150 مليون سنة (فالنسبة كانت تتراوح من 90.2 إلى 92 بالمئة مما قطع كل جدال) .

وقدم اكتشاف مهاد جديد من المتحجرات نماذج وعينات ثمينة لحيوانات فقيرة دنيا كما كشف عن وجود أشكال وسيطة كانت حتى ذلك الحين مجهولة⁽¹⁾ . ووجود سمات مختلطة ، في هذه

(1) راجع حول هذا الموضوع الفقرة III ، الفصل القادم .

الأشكال الوسيطة ، بين قشرات مختلفة ، لا يعزى إلى مطابقة بل يدل على تسلسل في هذه القشرات . ونفس الملاحظات بالنسبة إلى النباتات المتحجرة⁽¹⁾ .

هناك سلاسل متتابعة من المتحجرات في رسوبيات سميكة قد لوحظت في مجموعات متنوعة ؛ ومثل ذلك السلسلة الجميلة لثوتياء بحرية من نوع « ميكراستر » ، درسها أ . و . راو Rowe ، في مختلف مستويات شير طشنوري ارتفاعه 150 متراً (مارغات ، انكلترا) . إن هذه المتحجرات قد تطورت ببطء وهي تقدم برهاناً ملموساً على التطور .

إن الإحاثة العصبية ، التي تركز على دراسة قوالب داخل الجمجمة تقدم بدورها نتائج ثمينة حول تطور علم الشكل الخارجي للدماغ لدى الفقريات .

إن البراهين التي قدمها علم الأجنة ليست أقل برهنة : إن استمرارية المراحل السلفية تتيح توضيح الموقع المنهجي للمجموعات التي يصعب تحديد هويتها .

إن الريزوسيفال ، وقد غيرتها الطفيلية بعمق ، تعرف من خلال مراحلها اليرقية . والطفيلية التي تغير بعمق مراحل البلوغ لا تمارس أثراً على المراحل اليرقية . والتشابه الجنيني ليس تشابهاً عرضياً ، إن جنينية الأمفيوكسوس (بروكوردي) هي من نفس نمط جنينية الفقريات .

والنقد الواسع في علم الكيمياء الاحيائية يؤكد على التآلفات التي توحي بها مجالات علمية أخرى خاصة التشريح المقارن .

في سنة 1914 ذكر كوتشر وجود الكرياتين في عضلات الفقريات ، ووجود الأرجينين في عضلات اللافقريات . وفي سنة 1932 أوضح د . وج . نيدهام أن الأمفيوكسوس يحتوي على الكرياتين مثل الفقريات في حين أن الاسيديات تحتوي على الأرجينين مثل اللافقريات . وفي سنة 1944 أثبت م . فلوركين تشخيصاً حقيقياً كيميائياً للفقريات ؛ فوصف تواليدات مستقيمة كيميائية احيائية ؛ ومن أسفل إلى أعلى الترتاب الحيواني تزيد أو تنقص المعايير من مختلف المواد (بروتينات ، سكرات ...) . إن عملية الهدم في الخلايا الحية ، داخل البولة ، تدل على تطور في السلسلة الحيوانية يترافق مع خسارات متتالية في مختلف الانزيمات التي تتراب وفقاً لتواليد مستقيم احيائي كيميائي تفهيري ، لا انفكاك منه . إن تقنية التلاصق تدل على التآلفات الحقيقية ؛ وهكذا بين نوتال الروابط القربوية بين الليمول والعنكبيات التي تختلف شكلانيتها اختلافاً كبيراً . وقد أوضحت البحوث الكيميائية الاحيائية العديد من أوجه القربى بين الحيوانات والنباتات .

ولاحظ علماء متخصصون في الوحدات الخلوية وفي الميكروبات وجود تطور فيزيولوجي ، عجمه أ . لووف سنة 1943 .

هذا التطور قد تميز بخسارات متتالية في الوظيفة أو في القدرة على التراجع . إن الأجسام الأكثر بدائية هي مستعدة لتحقيق تركيب في مكوناتها الكيميائية (أي انها قادرة على خلق

(1) راجع الفقرة I ، الفصل VIII من هذا القسم .

مكوناتها) ؛ ثم وبصورة تدريجية نزول قدرة التخلق . إن نظرية فقدان الوظائف ربما تصلح في تطور الطفيليات .

هذه المجموعة الواسعة من البراهين تثبت واقعة التطور الذي يقدم وحده فهماً للعالم العضوي . وأيضاً إن رافضي التطور ، سواء رفضوه مرة واحدة أو قبلوا بتطور جزئي ، كانوا وما زالوا قليلين نادرين (ل . فياليتون ؛ ب . لوموان ، ل . بونور) . لا يوجد أية تجربة ولا أية مراقبة تتعارض مع المبدأ التطوري .

وقد جرى البحث في توضيح أنماط التطور ؛ واقتُرحت بعض القواعد : قانون التعتيل المتزايد ، قانون كروب (القابل بأن الأشكال القديمة جداً هي أشكال تركيبية) ، قانون التابع ، قانون التزايد الجسدي ، قانون دولرو أو قانون اللارجعة في التطور التدهوري . هذه القوانين لا ترتدي صفة الدقة الرياضية ، وقد أُشير إلى وجود استثناءات . إلا أن دراسات السلاسل التطورية الموجهة (التوالد المستقيم) قد أصبحت كلاسيكية .

نذكر التوالد المستقيم في الاكيدات وفي التيتانو ذير (اوسبورن) ، وفي الجمليات ، وفي الخرطوميات (اوسبورن) . وتبقى أوالية التوالد المستقيم تقريباً مجهولة . إن اقتراح هوكسلي الرامي إلى تفسير يتناسب مع النمو الألومنتري ليس مرضياً . في الواقع أن تحقيق نمط منسجم ومتخصص يقتضي تنسيقاً بين معاملات النمو ؛ هذه التنسيقات المتنوعة تواجه صعوبة رئيسية .

وقد جرت محاولة بتقدير سرعة التطور . وقدرها اوسبورن بعشرين مليون سنة ، وهو الوقت الضروري لتكون الضرس الطاحنة الثالثة في الماستودون تريلو فودونت ، أي تشكل ثلاثين تنوءاً . واقترح هالدان سنة 1949 وحدة تطور سماها « داروين » ولكنها غير شائعة .

إن البحوث الاحاثية في العقود الاخيرة قد ساهمت بشكل واسع في معرفة أفضل للفقرات المتحجرة القديمة . إن الشعب أو العروق بما فيها الكورديات (ج . بروف ، 1958) كانت غير معروفة في عصر ما قبل الكامبريان (شنديلوف ، 1956) وهي موجودة بعد عصر الكامبريان . إن الفقرات الأولى المعروفة ، وكذلك كل اللافقرات الأولى ، ليست أشكالاً بدائية .

النظريات التفسيرية للتطور . هناك نظريتان كبيرتان تفسران التطور : اللاماركية نسبة إلى لامارك الفرنسي والداروينية . ويعود تاريخهما إلى القرن التاسع عشر . ورغم الانتقادات الجديدة التي تثار حول اللاماركية الجديدة ، فقد عرفت هذه في مطلع القرن العشرين نجاحاً حاداً على الأقل في فرنسا حيث قام أتباع جيارد ، أ . بيريا ، بونيه ، لودونك ، كونستانتان ، وهوسي يدافعون بقوة عنها . ولكن عدم اوثية السمات المكتسبة تتعارض بشكل أكيد مع اللاماركية .

زعم ب . كاميرر من فينا أنه أثبت وراثية الصفات المكتسبة عند الضفدع المولد سنة 1909 . وبعد مناقشات حادة لم يتردد باتيسون سنة 1923 في القول بأن كاميرر « قد صحح الطبيعة » . وفي سنة 1929 نشر ج . ك . نوبل ، بعد أن استطاع عن طريق الميكروسكوب تفحص الكلاكل الاصابعية المزعومة المكتسبة ، مقالة يفضح فيها الغش . وبعد ذلك بأسابيع اعتبر انتحار كاميرر كاعتراف بالإدانة .

ويفسر تبني اللامركزية رسمياً من قبل الحكومة السوفياتية ، بعد 1929 ، الدعاية لصالح الميتشورية والليسنكية .

حقق ليسنكو Lyssenko مع مدرسته ، هجائن تطعيمية لكي يبين أن « المواد اللدنة » المنتقلة من حامل المطعوم إلى المطعوم وبالعكس يمكن أن تغير وراثياً المطعوم وحامل المطعوم إلى نموذج وسيط بينهما ؛ من هنا كان تأثير عصارات المطعوم على الخلايا المتبرعمة في حامل المطعوم ، والذي يترجم بنقل سمات شكلية ، ولونية ، إلى اخفاد حامل المطعوم ، واذن فقد انتقلت سمات اكتسبها المطعوم منه إلى الغير .

والنتائج الحاصلة المزعومة اثارث الكثير من الانتقادات ؛ حتى أنه جرى الكلام عن « حرب بين الفائلين بالوراثة » . وهناك يرهان آخر تدرع به اللاماركيون وهو أن بعض السمات البنيوية ، التي ما يزال منشؤها غير مفهوم ، تجد تفسيراً سهلاً في وراثة مقاعيل الاستعمال وعدم الاستعمال (كلاكل الجمل ، والنعامة والهولف ؛ وانحناء بطن مقرنات الذنب) . وظهرت اللامركزية من جديد ، مع الفرضية التي دعا اليها وتربيرت ، لاماركية كيميائية ؛ صيغ هذا المفهوم سنة 1949 ، ثم وسعه مؤلفه في أحد كتبه سنة 1962 .

إن اوالية التغير الوراثي مأخوذة نقلاً عن التمنيع ؛ فالجينة المعتبرة كمضاد منشبت بالصبغية ، هي ردة فعل دفاعية ضد تأثير بيئة مخربة . « ليست الجينة هي عامل الوراثة ، بل اداة البروتوبلازما في الوراثة » . وجمع الجينات ، أي الاجوبة التكيفية ، يحدد تطور النوع . إن هذه النظرية لم تلاق أي اثبات تجريبي . ويبدو من الصعب تصور التطور بكامله كمتتالية من الاجوبة على هجومات محلية .

وفي حوالي آخر القرن التاسع عشر، كانت الدرواينية الاصولية قد تغيرت على يد الداروينيين الغلاة (والاس ووايسمان) الذين قبلوا تفسيرات داروين ، من دون وراثة السمات المكتسبة ، باعتبار الانتقاء هو العامل الوحيد الفعال .

وفي حوالي سنة 1900 حققت نظرية جديدة ، هي التحويلة ، تغييراً ثانياً في الداروينية ؛ انها نوع من الداروينية المحرومة من وراثة السمات المكتسبة ومن عظيم قدرة الانتقاء الطبيعي .

وارتكزت الانتقالية على مفهوم التغير المتقطع أو مفهوم التحول الذي وضعه هـ . دي فري (حدث فريد ، إن مفهوم التحول القائم على اوتوتير مختلفة هو تفسير خاطئ لوقائع صحيحة) . إن اعادة اكتشاف قوانين الوراثة دلت كيف تنتقل التحولات ، وكيف تندمج لتولد المستجدات . إن الحركة التحويلة ترفض الوراثة في السمات المكتسبة من قبل الصوما وتقبل بلعبة الانتقاء المحافظة على النمط الوسط .

وهناك فرضية جديدة ، نودي بها منذ سنة 1902 من قبل ل . كوينوه ، هي التكيف المسبق ، وتندمج في التحويلة ؛ ويمكن أن تعتبر كمظهر خاص من مظاهر الانتقاء . وفي نظر كوينوه ، يتوافق التكيف المسبق مع « سمات غير منحازة ، أو نصف مفيدة تبدو في نوع ما ، ومن شأنها أن تصبح

تكيفات أكيدة ، إذا اعتمد هذا النوع مسكناً جديداً أو اكتسب سلوكات جديدة ، وهو تغير يندو ممكناً ، بفضل وجود هذه التكيفات المسبقة بالذات » . إن تشوّه (تشوّه النوع) ، بمعنى المصير المحتوم مسبقاً ، هو هراء مطلق .

إن الحركة التحويلية تقوم على بعض الوقائع الثابتة ، وتنبئ تقريباً عن التطور البسيط الصغير أي عن التغيرات التطورية في جماعة ما ، وعن شكل وعن عزلة الانواع الجديدة . ولكن الكثير من الظواهر تبقى غير مفسرة ، مثل ولادة المجموعات الكبرى ، والتكيفات والتواليدات المستقيمة ، الخ .

بخلال الثلاثين سنة الاولى من القرن العشرين ظهر الكثير من النظريات الصغيرة التي تحاول أن تفسر التطور وكان نجاحها سريع الزوال نوعاً ما ، ولم يبق منها شيء يذكر ومنها : اللاماركية البيولوجية التي قال بها پوللي (1905) ، ثم انتلسيا دريش ، والمفهوم الجسماني Organismique عند فون برتالانفي (1928) ، ثم هوليسمة سموتس (1916) . والمخلق Monogenèse عند ل . م . برغ (1922) ، وأولوجينز د . روزا (1909) ، وأريستوجينز اوسبورن ، وآبوجينز هـ . برزيرام (1929) . والأولوجينز عند آ . لآبي (1924) ، الخ .

إن اعمالاً متنوعة ، بدىء بها حوالي 1920 ، عالجت الدراسة النظرية والتجريبية حول التطور ، وكانت في أساس نظرية جديدة حول التطور هي النظرية التركيبية أو التوليفية ، والتي مجدت بشكل خاص في البلدان الانكلوسكسونية ؛ ويعتبر الاميركي ج . ج . سمپسون أحد أفضل ممثلها . إن هذه النظرية تتوافق مع نوع من الداروينية الجديدة المعدلة ، ومع تركيبة من الطروحات الداروينية الجديدة ومن التحويلة . إن التكيف يشكل العامل الموجه للتطور . إن هذا التوجه التطوري ينتج عن تفاعل بين التركيبية الوراثة التي تنظم اواليات للتطور وبين الانتقاء الطبيعي الذي يستخدم كدليل . إن التحولات تعطي امكانات ، والانتقاء يحدد الطريق . إن السمة الاساسية في التطور هي المناسبة أو الوصلية : كل ما من شأنه أن يحصل ، يحصل . إن التكيف المسبق يشكل اوالية للنظرية التوليفية أو التركيبية ؛ ولكن الانتقاء يمارس عملاً حاسماً في استخدام البيئة التكيفية المسبقة (أي ذات الاستعداد المسبق للتكيف) « إن التكيف المسبق والتكيف اللاحق هما مرحلتان في تفاعلية واحدة حيث يلعب الانتقاء دور الموضوع أو المحضر » .

إن الانتقاء قد درس بشكل مخصوص ، وكان موضوع تحليلات رياضية حددت الاشتقاق الوراثةي (رايت) ، وضغط التحول ، وضغط الانتقاء أو معامل الانتقاء . وحسب فيشر (1930) وم . رايت (1931) ، وهالدان (1932) وقع معامل الانتقاء على التطور ، وفقاً لمعدلات التحول ولأحجام الجماعات . إن الانتقاء المحافظ ، والانتقاء المجدد اللذين بدبما متناقضين ، ظهرا كاسلوبين من أساليب العمل متزامنين ، من شأنهما تغيير البنيات الوراثةية في جماعة ما . وهكذا يمكن تفسير تشكل الاعراق الجغرافية ، وحتى الانواع الجديدة (ماير ، ج . هوكسلي ، تيسيه) . وعرف باللوين (1902) انتقاء عضوياً أو موازياً ، وهو مفهوم جده هوانس (1946)

ولكن النظرية التركيبية لا تقدم ، بالتأكيد ، تفسيراً مرضياً لكل الوقائع المرصودة .

كيف يمكن تفسير التكيف الملازم للتطور؟ كيف يفسر تخلق او ولادة Coaptation التوافق (كوينوه) والأدوات (كوينوه وتيتري) المتكونة من التصويب المتبادل بين قسمين مستقلين؟ كيف يفهم تكون الأعضاء المعقدة بما فيها الدماغ البشري، عن طريق التحولات العارضة؟ إن الأعضاء المعقدة تقدم عناصر جديدة، وتناسقات جديدة، وهيكلية هندسية وتنظيماً مختلفين. إن التحول التطوري، لكي يكون فعلاً، يجب أن يُضبط مع التحول السابق، وأن يحدث تماماً في اللحظة المعينة. حتى الأعمال الكبرى البليوتروبية غير مؤهلة لتفسير الترابط والتناسق اللذين يميزان كل جسم حي.

إن عدم ثبوتية النظريات التطورية، خاصة «النظرية الجامدة جداً والمنسبطة جداً» التي قدمها ج. هوكسلي، دويرانسكي، وسيمسون وآخرون غيرهم، تحت اسم غير ملائم هو اسم النظرية التركيبية أو التوليفية، قد عرضها ب. ب. غراشي. يرى كالين النظرية التركيبية «كفورة تركيبية». حتى بعض المتمسكين بالنظرية الأميركية (وادينغتون، أولسون) أشاروا إلى الصعوبات وقدموا اعتراضات.

وكل النظريات السابقة، تقدم النظرية التركيبية تفسيرات جزئية لبعض النقاط الخاصة، ولكنها لا تقدم أي تفسير للتطور في كماله.

لقد جرت محاولات تفسيرية وما تزال حول التحولات المنهجية التي قال بها ر. ج. غولد شميدت، وحول تحولات الكائنات التي قال بها آ. دالك.

إن التحولات المنهجية، وقد أثارت تغييرات متزامنة في العديد من الجينات، هي في أساس الأنواع الجديدة. أما تحولات الكائنات فهي تغييرات فجائية، عميقة، جذرية ودائمة، تحدث داخل النسيج النووي في الببضة؛ وهي تتسبب في تلف خطير يصيب أليات النمو وربما تتحكم في ولادة المجموعات الكبرى، وفي التطور الواسع.

لقد اقترح بيولوجيون المان نظرية تركز على مفهوم النمط، فقد افترضوا وجود «أنماط مجسدة» (Morphotype) أو خطط تنظيم متميزة.

تقدم نظرية هيبير (Heberer) (1954) تطوراً يغير بصورة تدرجية نمطاً ما فيحوّله إلى نمط آخر بأشكال وسيطة. إن التغييرات التي تتناول على التوالي عدة سمات صغيرة تولد أخيراً بنية جديدة، والتطور يكون عندئذٍ جمعياً. أما نظرية شنديلوف (1960) فإنها تتطور تطوراً مستقلاً متميزاً بتغير فجائي من نمط إلى نمط؛ إن هذه التقطيعية أي الاستمرارية تلغي وجود أشكال وسيطة. وتعزي التغيرات إلى مفعول العوامل الداخلية.

وفي الوقت الحاضر، وبكل موضوعية، يجب الاعتراف أن مطلق نظرية لا تقدم تفسيراً مرضياً حول الأليات التطورية. ولادة الوحدات الكبرى التصنيفية، وكذلك التكيفات تمثل المصاعب الرئيسية التي من البعث اخفاء أهميتها.

التشريح المقارن وعلم الاحاث عند الفقريات

I - التشريح المقارن

دون أن تتجاوز الاحداث ، نستطيع أن نعثر في بحوث التشريح المقارن في الوقت الحاضر ، على التيارين اللذين رأيناهما يرتسمان ، في القرن الماضي ، مع أ. جوفرواسانت - هيلير ، وانصار النظريات التقليدية ، من جهة ، ومع ج. كوفيه وانصار مبدأ الترابطات من جهة اخرى . وكان المشرح الانكليزي غودريش (1868- 1946) من انصار الاتجاه الاول . ومن بين النقاط الأكثر بروزاً في عمله ، نقف عند بحثه حول التفلق ، وحول التماثل .

لقد اعطى ، حول النظرية الفقارية ، أو بصورة افضل التقليدية في الدماغ ، اراء عميقة جددت المسألة . فقد اوضح مفهوم التماثل . إن اعضاء فردين تكون متماثلة ، لا لكونها تنتمي إلى نفس الشق ، بل إذا امكن ربطها باجزاء تقابلها عند جد مشترك . وهناك درجات في التماثل ؛ إن تماثل عضوين يكون كاملاً عندما تشق اجزأؤهما من أقسام متطابقة في جد مشترك .

والعمل الرئيسي عند غودريش هو كتابه المعتبر : « دراسات حول بنية ونمو الفقريات » (1930) حيث عالج ، بعقل أصيل وعميق ، المسائل الكبرى حول المورفولوجيا أو علم التشكل . وهذا الكتاب كان ويبقى الدليل الضروري بالنسبة إلى كل باحث يعمل في هذا المجال .

في فرنسا يبدو كتاب لويس فياليتون (1868- 1930) مختلفاً تماماً . فهو يسجل ، نوعاً ما ، عودة إلى كوفيه Cuvier .

يرى فياليتون أن قانون الترابط مهم في المورفولوجيا أو علم التشكل ؛ فهو يشكل مفتاح التنظيم . والوسيلة الوحيدة لفهم الجسم تقوم على اعتباره كمجموع ترابط اجزأؤه . إن مثل هذه الطريقة هي المتعمدة في كتابه وعنوانه : اطراف واوساط الفقريات رباعيات الارجل . انتقاد مورفولوجية للتغيرية (1923) .

ونذكر أيضاً عدداً من الأعمال التي وإن لم تعالج مسألة كبرى في التشريح المقارن ، فإنها درست جهازاً أو عضواً داخل مجموعة ذات أهمية نوعاً ما في الفقريات : مثل بحوث

الهولنديين فان كمين Van Kampen حول المنطقة البصرية لدى الثدييات ، اريانس كاپرس حول الجهاز العصبي ؛ وبحوث الفرنسيين ج . انطوني (مورفولوجيا خارجية في دماغ القرد الپلاتيرينية ، باريس 1947) وبحوث ر . انطوني وأ . دي سانت - ماريا حول منهجة مخيخ الثدييات ؛ وبحوث السويسري ج . كالين Kalin حول تشريح التماسيح وحول الثدييات البشرية والقردية ، الخ . إن التشريح المقارن كثيراً ما استعمل تقنيات علم الاجنة وعلم الانسجة . وهناك العديد من الاعمال التي يجب ذكرها . ونحن نأخذ هنا فقط الدراسات المهمة التي قام بها سيرغافين ديبر de Beer حول تطور الجمجمة .

II - نهضة الاحاثه فيما خص الفقريات

فرنسا - في فرنسا هناك اسمان بارزان تجب الاشارة إليهما في مجال الاحاثه فيما يتعلق بالفقريات وهما : مارسيلين بول Boule وشارل ديبريه Depéret .

كان بول (1861 - 1941) ، تلميذاً ووارثاً لغودري على كرسي الاحاثه في متحف التاريخ الطبيعي وقد حرص على المحافظة بأمانة شديدة على ثراث معلمه . ومساهمته في إحاثه الفقريات تتمثل بشكل خاص بدراساته حول الثدييات الرباعية . ولكن القسم الأكثر أصالة في عمله يكمن أساساً في بحوثه الاحاثية حول البشر وحول ما قبل التاريخ .

كان شارل ديبريه (1854 - 1920) ، هو أيضاً تلميذاً لغودري ، ولكنه انفصل عنه بسرعة . وقد ناهض التركيبات المبكرة (إحياء لثراكيب غودري) دون أن يأبه بما فيه الكفاية بالمعطيات الكرونولوجية أي التسلسل التاريخي ، والتي كان من نتائجها اقرار بنوع مصطنعة تجعل من أنواع ليس بينها أي رابط شجري عائلي ، تسلسلاً بنوع وأبوة . وقد ركز على بقاء التغيرات التطورية واجتهد في اعادة تكوين الاغصان العرقية النوعية . وإبرز وأوضح الغموض الحاصل غالباً « بين التطور الحقيقي في مجموعة طبيعية من الحيوانات المتحجرة ، وبين ما ليس هو بالفعل إلا التطور الوظيفي في عضو داخل سلسلة من الانواع التي تنتمي إلى اغصان طبيعية مختلفة ، وليس بينها أي رابط قرابة مباشر » .

ونحن ندين لديبريه أيضاً بأعمال مهمة حول الثدييات الثلاثية في فرنسا ، وبسلسلة من الملاحظات الاصلية حول مسألة الهجرات ، والتزامات في المهاد الاحاثية عبر العالم .

سويسرا - كان هـ . ستيلين (1870 - 1941) ، تلميذاً لروتيمير Rutimeyer ، وهو أحد الوجوه الابرز في علم الاحاثه المعاصر . وقد جعل من متحف بال أحد المراكز الرئيسية في العالم فيما يتعلق باحاثه الثدييات . وقام بحفريات في المهاد الرئيسية في اوروبا وقد جمع توثيقاً كاملاً جداً حول تاريخ مفردات الاصابع وحول مفصلية الاصابع وكذلك حول عدد لا بأس به من المجموعات الثديية الاخرى . وكان عنوان كتابه الرئيسي ، الذي نشر بين سنة 1903 و 1916 في مذكرات الجمعية الاحاثية السويسرية « الثدييات في الايوسين السويسري ، كتالوغ انتقادي بالمواد » . ولا يتعلق الامر في الواقع بتعداد وصفي بل بمحاولة فيلوجينية ، وهي احدى اوسع المحاولات التي تناولت الثدييات ذات الظفر ودراسة في الزمن وفي الفضاء حول مختلف فروعها .

إن إعادة تكوين الهجرات قادت إلى إجراء مقارنات بين الحيوانات الشالنية في أوروبا وحيوانات أميركا الشمالية ، وبذات الوقت أوضحت السمات التطورية التي أصابت الجمجمة والامتنان . وفي أواخر حياته ركز ستيلين اهتمامه حول الأزمنة الرباعية فصدر له كتاب مهم بعنوان « غار كوتشتر محطة موسمية » حرره بمعاونة أ . دوسوا ويتضمن نتائج مهمة بشكل خاص حول تطور الحيوانات وحول التغيرات المناخية التي تميزت بها الحقبة الأخيرة من تاريخ الأرض .

المانيا - كان علم الإحاثة حول الفقريات في ألمانيا موضوع دراسات ذات طابع وصفي . نشر ف . فون هوين Huene عدداً كبيراً من المذكرات والملاحظات حول مختلف مجموعات الزحافات ؛ وكان بروالي Broili مؤلف أعمال مفيدة حول الزحافات الطائرية وحول زحافات كارو Karroo ؛ ووصف م . شلوسر Schlosser حيوانات ثديية في أوروبا ومصر .

بلجيكا - إن أعمال دولو Dollo (1851- 1931) ألقت بريقاً حاداً حول إحاثة الفقريات . وتشكل بحوثه حول أسماك العصر الأولي ، ثم إعادة تكوينه للديناصوريات في برنيسار التي تشكل هياكلها العظمية المجموعة الأكثر بهاء في المعهد الملكي في بلجيكا ، ودراساته حول التمساحيات و « شيلونيات » المتميزة بأسلوبها المختصر ، المملوءة بعبارات مصقولة ، كل ذلك يشكل مساهمة رئيسية في تاريخ الفقريات الدنيا .

ولكن يوجد في شخص دولو منظر . إنه واحد من أولئك الذين نادوا بوضوح بقانون اللاعودة في التطور ، والذي يسمى في أغلب الأحيان باسم « قانون دولو » .

يطبق هذا القانون في كل مكان توجد فيه وراثته . ومنذ أن يسجل كائن ما في بنيتة آثار كل مرحلة اجتازها ، فمن المستحيل ، بحسب البناء ، العودة تماماً إلى الحالات التي مر بها سابقاً . إن اللاعودة لا تقتضي التولد المستقيم ، أي سلسلة من التحولات ثم بشكل خط مستقيم ، وتجري من الأنواع ضمن اتجاه معين . ومن غير المشكوك فيه أنه لولا قانون عدم الارتداد ، لكان علم الإحاثة عاجزاً عن فك الشبكة المعقدة من الأشكال الزائلة .

انكلترا - إن التراث الكبير الذي خلفه أمثال أوين Owen وأمثال هوكسلي Huxley استمر في الحقبة المعاصرة في انكلترا . وقد وصف ش . اندروز (1866- 1924) الزواحف الكبيرة في بحار الجور وأعماله حول حيوانات الثدييات المعثور عليها قريباً من القاهرة ، في مهد الفيوم ، قد أناحت سد الفراغ جزئياً الذي يفصل اليوم الخرطوميات عن غيرها من مجموعات الثدييات ذات الحافر . نحن نعلم الآن أن ذوات الأنظار من النمط القديم قد غيرت شكل رأسها ؛ وكيف أنها اكتسبت خرطوماً ؛ وكيف غيرت وعقدت اسنانها ؛ لكي تصبح فيلة .

كان أ . سميث - ودورد Smith- Woodward (1864- 1944) أحد اساتذة الإحاثة السمكية . وكان كتالوغ الاسماك المتحجرة في المتحف البريطاني للتاريخ الطبيعي ، وبقى مؤلفاً أساسياً .

وعلياً أن نذكر أيضاً اسم د . م . س . واطسون . ولكن تأثيره على حركة الإحاثة العصرية يبقى غميقاً جداً وحيماً جداً بحيث أننا سنكتب عن مؤلفه بمعرض الاتجاهات الحاضرة لهذا العلم .

روسيا - في روسيا ، بين نشر اعمال كوفاليفسكي والعصر الحاضر الذي يشهد نشاطاً كبيراً ، نحن لن نذكر الا اسم ماري بافلوف ، مؤلفة العديد من المذكرات حول الثدييات الشالدية في روسيا . فقد اثبتت الموقع الفيلوجيني الذي يحتله الهباريون وبهذا فقد قدمت مساهمة مهمة لتاريخ إحاثة الخيول .

اميركا - يحتل عمل هـ . ف . اوسبورن (1857- 1935) مكانة مهمة . نشر اوسبورن كتباً حول الاحاث العامة وتاريخها ومناهجها . وقد وضع تصنيفاً للزحافات المتحجرة هو في منطلق مفاهيمنا الحديثة حول البنية الفيلوجينية لهذا المجمل الكبير ، مجمل الفقريات . وقد وصف العديد من أشكال الزحافات البحرية والزحافات الأرضية من مجموعة الدينوصور . وعاد إلى بعض افكار (كوپ Cope) بعد أن غيرها وأوضحها ، فاعطى دفعة نشيطة للدراسات حول الضرساة واقترح نظرية عامة حول التسنين ؛ وأخيراً كرس لتاريخ إحاثة الثدييات العديد من المذكرات ، متابعاً ومتمماً عمل مارش Marsh وكوب .

إن أصل الثدييات ، وانتشارها الاول في العصر الثانوي ، ونموها الكبير في العصر الثالثي ، ووصف مجموعة من الانماط الجديدة لقيت من جانبه وضع عدد كبير من المذكرات بشأنها . فقد اعد تاريخ إحاثة الخيول ، ووحيد القرن والتيتانيات والخرطوميات . وقدم دراسات ذكية حول مبادئ التطور . وقد تميز هذا التطور عنده بظاهرة التغير باتجاه محدد ، وسماها التوالد الارستقراطي . وبميل (اوسبورن) إلى تفسير حيوي للظاهرة الحيوية الحياتية . لقد اهتم (اوسبورن) بمسألة أصول الانسان فشق وركب الاكتشافات التي جرت في العالم القديم .

ويتميز نشاطه بمظهر مزدوج علمي واجتماعي ، أشار إليه بصورة جيدة (م . بول) . ولا يمكن في هذا الشأن اهمال الدور الذي لعبه اوسبورن في تنظيم متحف التاريخ الطبيعي في نيويورك ، وفي عرضه التعليمي « ولا المشاركة التي قام بها من أجل تشكيل بعثات علمية من أجل استكشاف ومن أجل التنقيب (في منغوليا مثلاً) .

ومنذ بداية هذا القرن نهضت إحاثة الفقريات في امريكا الشمالية نهضة مشرقة . وكان و . د . ماثيو Matthew بالتاكيد واحداً من علماء الاحاث الذين كانت لهم المعرفة الأكثر عمقاً بالثدييات الشالدية .

وكانت مذكراته العديدة بالنسبة إلى كل الذين يدرسون هذه المجموعات من الفقريات ، نماذج حقة للوصف والتفسير .

في كل بحوثه ربط و . ك . غريغوري علم إحاثة الفقريات بالتشريع المقارن ؛ وقد عالج بذهنية مميزة ، العديد من مظاهر مسألة التطور .

III - الاتجاهات الحالية في إحاثة الفقريات

التنقيب أو الحفريات - لا يمكن الا ان تؤخذ بتطور البحوث الحالي في مجال إحاثة الفقريات . فعدا عن أعمال المختبرات ، استمرت الحفريات ناشطة في العديد من البلدان التي

كانت حتى الآن مهمة نوعاً ما . وقد تم الحصول على نتائج جديدة وغير متوقعة من أجل العلم .

وقد ساهم علماء الاحاث الفرنسيون مساهمة ناشطة في هذه الحركة . ومنذ السنوات الاخيرة ، تابعت الحفريات المنهجية في حوض (بارس) وفي حوض الآكتين وفي الهضبة الوسطى في فرنسا . وامتدت البحوث نحو مدغشقر ، وأعطت مجموعة من المستندات الجديدة حول الفقريات في الحقبة البرمية - الترياسية ، وفي افريقيا الوسطى .

وفي انكلترا جاءت اكتشافات رائعة توضح مسألة أصل الثدييات . وفي المانيا ، يجب أن نذكر الحفريات المنهجية التي قام بها هـ . طويان في المهاد الثالثة من حوض ماينتس .

ونحت تأثير عالم إحاثي نابغة ، م . كروزافون بيرو ، أخذت شبه جزيرة إيبيريا وبصورة خاصة كاتالونيا تصبح أرضاً مختارة لتاريخ الثدييات الثالثة . إن الحفريات التي جرت في انغولا وفي البرتغال قدمت مادة لأعمال مفيدة قام بها ك . تيكسيرا وج . بيزيوسكي .

وفي يوغسلافيا قامت بحوث مهمة في المهاد الهوتيه . إن الاحاثين السوفيات يتابعون الاستكشافات في مهاد نهاية العصر القديم واكتشافاتهم أتاحت الاستمرار والمتابعة لتاريخ الزواحف الثديية . وقد وسعوا بحوثهم حتى منغوليا حيث كانت قد سبقتهم البعثات الاميركية الكبرى (1918-1925) .

وتم الحصول على نتائج مهمة جداً بفضل البعثات النرويجية والدانماركية والسويدية إلى جزيرة غرينلاند التي أوضحت ، منذ 1920 ، متحجرات توضح مسألة الانتقال من الحياة المائية إلى الحياة الهوائية عند الفقريات . وتبقى اميركا الشمالية الارض المميزة لدراسة الثدييات الثالثة . وفي السنوات الاخيرة بدأت التنقيبات الجارية في مهاد بداية العصر الثالث تعطي أهم النتائج . في اميركا الجنوبية تجب الاشارة إلى البحوث المهمة التي قام بها ج . ج . سمبسون في التشكيلات الثالثة في باناغونيا .

في افريقيا الجنوبية لم يفك التشكيل الضخم في كيارو (جنوب افريقيا) يقدم عينات عن مجموعة عجيبة من الزحافات تطور بعضها متحولاً إلى ثدييات . وكان أوين أحد الأوائل الذين عرفوا بها . ولكن أعمال ر . بروم ، بصورة رئيسية ، وأعمال د . م . س . واطسون أيضاً هي التي أتاحت إعادة تكوين الخطوط الكبرى في تاريخها .

النتائج الكبرى - - إن إحاثة الفقريات ترتبط ، بصورة واضحة تماماً ، بمنهجها وموضوعها ، وبالمجال المخصص للعلوم البيولوجية ، بعد العثور على الطريق التي شقها المؤسس ج . كوفييه ، والكتاب الجميل الذي وضعه د . م . س . واطسون وعنوانه : الإحاثة والبيولوجيا الحديثة (1951) ، الغني جداً بالآراء الجيدة وبالرؤى الأصيلة ، هو شهادة حاسمة تدل على هذا التطور . وعلى صعيد العمل في البحث أصبح التوحيد بين إحاثة الفقريات والتشريح المقارن أكثر وثوقاً . ولا يمكن تصور إحاثي غير عالم بالتشريح علماً أساسياً . وإنه بشكل خاص في دراسة الفقريات الدنيا ، برز هذا الرابط بأقوى قوته . وتعتبر أعمال أ . مستيسو ، من

ستوكلهم ، حول الفقرات البدائية وحول صدقات الجلد ومفصليات العنق ومسطحات المفاصل ، نماذج لإعادة التكوين التشريحي ، حيث يستعين الباحث بقوانين التماثل وبمبدأ الترابط ليتوصل إلى إعادة صنع أعضاء أو مجموعة أعضاء ، بواقعية عليا ، كان التحجر قد قضى عليها ؛ مثل ذلك الجهاز الدوراني أو الجهاز العصبي ، الخ .

وتطبق الملاحظات نفسها على أعمال د . م . س . واطسون حول المفصليات ، والبرمائيات والزحافات ، وكذلك أعمال إ . جارقيك حول الكلتاوات . وبنفس العقلية ووفقاً لنفس المناهج درس أ . س . رومر Romer الزحافات الأولى في اميركا الشمالية ؛ ودرس ب . بايروا . كوهين - شنيدر زواحف ترياس التسنين ؛ درس ج . أ . أفريموف البرمائيات والزحافات من العصر القديم في روسيا ، ودرس ج . أ . أورلوف الدينوسيفال ؛ وأ . هـ . كوليرت الزحافات الديناصورية . وساهمت الإحاثة الفرنسية بمثل هذه الحركة : وكانت مهمة بشكل خاص أعمال ج . ميوه وج . أنطوني حول الكولاكانت ، وبحوث ج . ب . ليهمان حول الفقرات الديشونية في غرينلند وفقرات ترياس في مدغشقر .

وهناك مجالات كانت تعتقد مستعصية على الإحاثي ، أصبحت الآن مستكشفة . إن دراسة المخيخ مثلاً ، سنداً لتفحص الشكل الخارجي للجمجمة أتاح إعادة تكوين ظاهرة التمخخ في خطوطها الكبرى وهكذا تكون علم جديد هو علم الإحاثة العصبي (ت . أدنجر ، 1948 ، ك . دي شارو ، 1962) .

ودفعة واحدة أمكن تجديد المسائل الكبرى في التشريح المقارن وأمكنت معالجتها بشكل جديد : مثل أصل الفكين ، وشروط الهدمة العامة للجمجمة ، وأصل الاطراف ، الخ ، ومثل ذلك من المسائل التي أخذناها نحن بفضل الإحاثة ونجد لها حلاً .

إن نظرية التطور هي بصورة أساسية ، التأكيد على أن الاحياء مرتبطون فيما بينهم تاريخياً . ولا يمكن فهم أي شيء ، بدون محيطه ، وكذلك بدون سابقه . وهكذا يمكن التأكيد ، بعد تفحص الكائن الحي ، إن هذا أو ذاك من المعجل التحضيري لمراحل التطور ، قد سبق ظهوره بالضرورة ، وينتج عن ذلك أن عينة وحيدة تنبئ عن تاريخ طويل .

وسوف نرى ، بواسطة تضامر التشريح المقارن والإحاثة كيف تكامل علم جديد ، علم حقيقي للأشكال .

وهناك مثل مأخوذ من الأعمال الحديثة . وقد سبقت الإشارة إليه بإيجاز (ج . بيفيتو ، محاولة أصل وتطور البرمائيات اللاذليات ، حوليات الإحاثة ، 1937) يوضح هذه الافكار . يوجد في الطبيعة الحالية مجموعة من الفقرات ذات السمات الفريدة : اللاذليات (ضفادع وعلاجم) وبعد تحليل بنيتها في ضوء التشريح المقارن تبين أنها تنتمي إلى مجموعة من البرمائيات من العصر الأولي ، وتتيح هذه البنية التنبؤ بصورة تقريبية ، بسمات الأشكال الوسيطة ثم تقرير أنها وجدت في بداية العصر الثانوي . وأوضحت بحوث أجريت في أراض من هذه الحقبة في مدغشقر عن وجود متحجرة تستجمع التنبؤات التشريحية المقارنة ، وتشكل إحدى الحلقات البارزة بين البرمائيات

الأقدم واللاذليات أو البرمائيات الحالية . ومن الممكن الإكثار من مثل هذه الامثلة التي تدل ، حسب تعبير ب . سان سين ، على أن المتحجرات تستجيب لمواعيد الحساب .

وقد سبق كوفيه و اعتبر المتحجرات كتجارب طبيعية . ونستطيع القول الآن (إذا عرفنا التجربة بأنها واسطة للثبوت من فرضية) أن الإحاثة المستندة على التشريح المقارن يمكن أن تعتبر كعلم تجريبي .

والتحليل الدقيق من قبل علماء الإحاثة لمختلف مجموعات الفقريات دل على أنها تتحلل إلى فروع متشعبة ومختلفة هي الاغصان أو العروق . ودراسة العروق ، أي دراسة بنيتها وعلاقاتها وتوزعها في الفضاء البيولوجي تصحح هي أيضاً جزءاً أساسياً من البحث الإحاثي ، ومن وجهة النظر هذه ، إن مجموعة الثدييات كانت موضوع بحوث هي الأدق . ويكفي أن نذكر الأعمال الكلاسيكية التي قام بها ج . ج . سمبسون ، والتي تناول تقريباً كل مجموعات الثدييات ؛ وخاصة أعمال ي . تيلهاردي شاردان حول آكلات اللحوم ؛ وأعمال س . شوب حول القواضم الخ . وهناك أسماء كثيرة يمكن اضافتها إلى هذا الجدول المختصر . وهكذا يتكون عرق استمراراً لعلم الوراثة .

ولأسباب يسهل فهمها كانت مجموعة الرئيسات (فصيلة الانسان والقرود) موضوع بحوث معمقة . ونحن نرى بصورة أفضل الآن الرسم الذي ترسمه تشعباتها . هناك مركزان للبحوث ناشطان بشكل خاص : أحدهما في سويسرا ويعمل فيه ج . هورزلى Hurzeler وج . كالين ، وأعماله قد غيرت ، بما فيها من مقتضيات تخص مسألة أصول البشر ، بعمق معارفنا ؛ والآخر في انكلترا بقيادة سير وفريد لوغرو كلارك الذي قدم معطيات أساسية حول تطور أشباه الإنسان والإنسان .

بالطبع عندما يتعلق الأمر ، على الصعيد الفلسفي ، بتفسير هذه الأوجه في الحياة ، فإن المعارضات تظهر بين علماء الإحاثة .

وهل يمكن العثور على إتجاه لهذا التطور ؟ هل هناك توالد مستقيم ؟ إن هذا المفهوم لتطور موجه نوعاً ما قد انتقد بحدّة من قبل بعض الإحاثيين ، وخاصة ج . ج . سمبسون وه . أ . وود الخ . في حين دافع عنه آخرون وخاصة ب . تيلهاردي شاردان :

كتب هذا الأخير يقول « ماذا يهم ، بعد كل شيء ، إذا كانت شجرة العائلة بالنسبة إلى الخلييات ، بدلاً من أن تظهر ، كما في السابق ، بشكل ثلاثة خطوط فقط ، فإنها اتخذت في اعيننا بنية ضمة من الألياف قصيرة إلى حد ما ، ومتقطعة ؟ منذ الحين الذي تستمر فيه الضمة ، فوق الألياف - في الوجود - متمدة إجمالاً من نمط « هيراكليس يوم إلى نمط إيكوس » ، بعدها يستمر الخلق المستقيم في العمل (سواء سميناها « نزعة » أو انتقاء مستقيماً) . »

عندما نتفحص التاريخ التطوري للجماعات - وهذا هو الأمر المسيطر في النهاية - لا يكون هناك نشأت بل جدولة للأشكال .

إن الإحاثيين قلما عالجوا مسألة الغائيات التطورية ، وهي مسألة تطرح بشكل مستقل عن الإحاثية . وقد أشار ج . سمبسون ، مع كثيرين آخرين ، إلى أن نظرية التطور لا تكون صالحة إلا إذا استوعبت نتائج الإحاثية . وفي كتابه المسمى « وقت ونموذج في التطور » حاول سمبسون اجراء هذا الدمج أو التركيب لنتائج علم الوراثة مع نتائج علم المتحجرات ومهما كانت ميزاته فإن مثل هذا الجهد لن يلاقي التأييد الإجماعي . فقد عاد إلى توسيع النتائج ، نتائج التطور الافرادي ، التطور عند مستوى النوع ليشمل تطور كل الانواع أي ليشمل مسار تاريخ الحياة كله . واضطراب بعض الإحاثيين في مواجهة مثل هذه التركيبات يعود إلى الصعوبات التالية التي حللها تماماً ف . ماير في كتابه « اشكالية التطور » فقد بدا لهم صعباً افتراض ما يلي : « أن ما يبدو ، من جهة ما ، كتابع محتمل في العلل والأسباب ، يمكن بمقياس آخر ، أن يكتب معقولية من نوع آخر » . وتدخلت دراسة الظاهرة الإحاثية ضمن تراتب في الضخامة مختلف عن تراتب التغيرات الذاتية الخاصة .

وقد يحدث أحياناً للإحاثي - الذي يتأمل في كل هذه النظريات التي تنطلق من مسألة « أصل الأنواع » والذي يفشل في محاولاته نقلها إلى الصعيد المؤلف لديه - أن يتساءل ، كما يقول جان پرين ما إذا كان مطلق مفهوم ينتهي بفقدان معناه عندما نبتعد عن الشروط التي كانت متوفرة عندما تمت صياغته .

قبل التاريخ

في القرن العشرين توضحت مناهج ما قبل التاريخ وتمت بعد ذلك متابعة تطور البشرية بمختلف أشكاله : جيولوجياً ، العقب الجليدية وما بين الجليدية ، الطمي البحري والنهري ، ترسبات الكهوف ، إلى آخره . . . ، ثم أحاثياً ، الإنسان ، النبات والحيوانات المتحجرة ، ثم أركيولوجياً ، الصناعات البشرية .

بعد إعادة طبع كتاب « ما قبل التاريخ » ، وكتاب « متحف قبل التاريخ » لـ ج . و . آ . موتيلت ، ظهر كتاب « مختصر الأركيولوجيا قبل التاريخ ، السلتية والغالورومانية » لـ ج . ديشليتة Dèchelette (مجلد 1-1910) ، ثم ظهر في سنة 1920 كتاب « الرجال المتحجرون » لمؤلفه مارسيلين بول Boule ، وهو كتاب رائع أعيد طبعه عدة مرات . وظهرت موجزات عديدة حول ما قبل التاريخ العام ؛ من ذلك في فرنسا ظهرت كتب جان دي مورغان (1921) ، ثم تبعتها كتب أخرى عديدة مع موسوعات أكثر تقنية وإطالس .

وبذات الوقت ظهرت مجلات دورية متخصصة تنبئ عن العديد من الاكتشافات مثل مجلة الأنثروبولوجيا أو نشرة الجمعية قبل التاريخية في فرنسا ؛ ثم (أحداث مجتمع ما قبل التاريخ ، الإنسان ، العصور القديمة) في انكلترا ، ثم نشرة الجمعية الملكية البلجيكية حول الاناسة أو الأنثروبولوجيا وما قبل التاريخ ؛ ثم جرمانيا ، في ألمانيا ؛ ثم انثروبوس أو الإنسان في النمسا ؛ ونشرات سميثونيان أنستيتيوشن في الولايات المتحدة : وتمتلك بلدان عدة أخرى الآن مثل هذه الدوريات .

إن تنظيم المؤتمرات القومية والدولية وإنشاء الاتحاد الدولي لدراسة العصر الرابع ، قد أتاحا تبادل الآراء المثمر . وفي ما وراء المناطق الكلاسيكية من وادي نهر السوم والدوردونية ، امتد الاستكشاف إلى كل القارات ، وخاصة إلى إفريقيا وآسيا . وربط علماء ما قبل التاريخ الجيولوجيا بالعلوم الانسانية وبدأوا باستئنان تاريخ الفكر من خلال تطور فن الموبيليا والبجداريات الذي ظهر منذ أكثر من عشرين ألف سنة . وقد أتاح النتائج الحاصلة للعديد من الباحثين أن يواجهوا التأويلات الواسعة العلمية والفلسفية .

الظواهرات الجليدية والقرية من المناطق الجليدية - إن كلية أزمنة ما قبل التاريخ محكومة بظواهرات مناخية أثارت سلسلة من الموجات البردية المأساوية وتسببت بمراحل جليدية وشبه جليدية .

إن القلنسوة الجليدية في اسكتلندانية كانت تمتد بعيداً إلى الجنوب ، حتى انكلترا ، والبلدان المنخفضة ، وألمانيا ، في حين كانت الجليديات الكبرى الآلية تنزل إلى وادي نهر الرون . وميز بنك وبروكنر (1909) بين أربع حقبة جليدية هي : الغتسي ، المندلي ، الريتي والفورمي ، حددت في جبال الألب البافارية والسوابية . وبالمفصل ، نمير أحد عشر انزلاقاً للثربة ، ولكن تفسير الأحداث بقي دقيقاً . والدراسات الحديثة التي قام بها ف . بورديه حول التجلد في جبال الألب الفرنسية ، ودراسات آ . كايوه حول الظواهرات حول الجليدية في أوروبا الغربية ، تدل على أن المحقب الجليدية في جبال الألب تتوافق مع حقبة جليد اسكتلندانية .

وأسباب الظاهرة الجليدية ما تزال غير معروفة ولكن مفاعيلها قد اكتشفت حول العالم قاطبة ، حتى في المناطق الاستوائية حيث أحدثت اضطرابات خطيرة في التوزيع الجغرافي للكائنات الحية .

إن الدراسات حول الجليد أدت إلى نشر كتب أكثر فأكثر دقة : « تغير العالم منذ العصر الجليدي » بقلم ر . أ . دالي 1934 ، ثم « الجيولوجيا الجليدية والبيستوسينية » بقلم ر . ف . فلينت (نيويورك 1957) . المجلدان حول « العصر الرابع » بقلم ج . ك . شنارلزورث (لندن 1957) ثم « الحقبة البيستوسينية » بقلم ف . ر . زونر (لندن 1959) .

وتتجه ملاحظات م . ك . رونكورن وغيره (1959-1960) حول المغناطيسية الحجرية إلى اقتراح نقل القطبين عبر العصور الجيولوجية ، ولكن أ . دوفلييه وآخرين (1962) يفضلون الافتراض بأن القشرة الأرضية قد زاحت بشكل كامل . وفي سنة 1961 قدم ر . و . فيربريدج توليفة حجرية مناخية للعصر الرابع .

التسلسل الكرونولوجي - في سنة 1900 قدر ج . دي مورتيلت عمر الزمن الرابع بـ 250 ألف سنة وهو تقدير اعتبر يومئذ خيالياً أسطورياً . وبعد ذلك بأربعين سنة قبل م . بول بالرقم 500 ألف سنة ، وهو رقم قريب من رقم 600 ألف سنة الذي اقترحه الفلكي والجغرافي الفيزيائي اليوغوسلافي ، م . ميلانكوفيتش سنة 1920 و1930 و1938 .

وقد استعمل هذا الأخير الطرق الرياضية ، منطلقاً من التغير المحتمل في اشعاعات الشمس سنداً لفرضية بتنقل القطبين ، والتي قال بها كوين وأ . ويجنر . ومع ذلك فقد بين هـ . كوير سنة 1943 فساد هذه الحسابات .

واعتمد كتاب آخرون أرقاماً مختلفة : فقال أ . بنك إن عمر الأرض يتراوح بين 500 ألف ومليون سنة ، وقدره ج . أ . ييلغريم بمليون ونصف سنة . وعاد ر . سبيتالز في براغ سنة 1939 ثم ج . بلانشار في باريس سنة 1942 إلى حساب أزمنة العصر الرابع انطلاقاً من معطيات فلكية ، وفسروا بذات الوقت دورية المراحل الجليدية . وعثر ج . بلانشار الذي قبل بفرضية تنقل القطبين

على زيوحات الارض الإحدى عشر التي ذكرها الاباتي بروي Breuil ، وحدد مدة العصر الرابع بما فيه عصر فيلا فرانسيان بما يقارب مليون ونصف مليون سنة .

وقدمت توضيحات اكبر حول الآلاف الأخيرة عن طريق اسلوب الرواسب المائية وهو اسلوب ابتكره البارون السويدي ج . دي غير (1858-1943) .

والفارق هي الترسبات السنوية التي تتركها مجاري المياه في قاع البحيرات المجلدة ، في مقدمة الجبال الجليدية . ودرس ج . دي غير هذه الترسبات المصفوفة بعضها فوق بعض وعدد أوراقها في اماكن متنوعة ونجح سنة 1910 في نشير كرونولوجيا مفصلة حول 12 الف سنة سابقة لعصرنا - منذ المجدلي وحتى نهاية الحجري القديم الأعلى - متابعاً خطورة فخطوة تراجع الجليديات الاسكندنافية . وتتبع ج . دي غير هذه الدراسة الرائعة وصححها وأكملها في سلسلة من الاعمال استمر بها حتى سنة 1940 .

وطبقت نفس الطريقة بنجاح من قبل م . سورامو في فنلندا سنة 1929 ومن قبل أ . انتيفس في اميركا الشمالية سنة 1931 الخ . ولكن تزامن مختلف السلاسل المرصودة لم يثبت الا سنة 1953 بعد تطبيق طريقة الكربون 14 التي أثبتت امتياز طريقة الرواسب المائية .

المصاطب البحرية والنهرية - في بداية القرن لاحظ ل . دي لاموث سلسلة من الشايبا متراكمة على طول شواطئ الجزائر وبين أنها تتألف من ترسبات بحرية ، ومن شواطئ قديمة ذات حصى ورمال وأصداف متحجرة ؛ وتدل هذه الترسبات التي ما تزال على نفس الارتفاعات على المستويات القديمة للبحار الرابعة .

ولما بعد وجد ل . لاموث في وادي نهر الإيسر «مصاطب نهرية» يتوافق ارتفاعها مع ارتفاع المصاطب البحرية . ووسع استقصاءه وارتكز على مبدأ تواصل البحار (أي على الواقعة الاكيدة بأن كل المحيطات تتصل فيما بينها ، وان الشاطئ صفر هو على نفس المستوى في كل بلدان العالم) وبين أن مصاطب الموزل والرين والرون كمصاطب الإيسر سبها تموجات بين المحيطات عند مستوى القاعدة . وفي سنة 1911 نشر مذكرة عرض فيها نظريته نهائياً .

وكان ش . دي بيريت الذي ربط بين الجرافات المتراكمة ، وهي شواهد على الجليد الأورميني ، مع مصاطب نهرية ، اجتذبه هذه الفكرة وتصور تركيبة رائعة ترتكز على إتصالية المحيطات وتتبع ، على نفس الشواطئ النسيية ، تتبع المصاطب البحرية أو النهرية والترسبات الجرافية ، والكل مؤرخ بمتحجرات ومصناعات بشرية . وهكذا امكنت الاحاطة بالعصر الرابع ، ضمن تاريخ أربع مصاطب تقع على ارتفاع 15 و 30 و 60 و 100 متر . وتتوافق المستويات البحرية في العصر الميسيلي والميلازيني والموناستيري والتيريني ، مع التشكيلات الجليدية في الغتسي والمندلي والريسي والفورمي .

ولكن هذه النظرية قد أخطأت في أساسها بفعل نسيان ظاهرة أساسية وهي : استمرارية الحركات الماصة في القشرة الأرضية على طول العصر الرابع ، فرفعت بعض الشواطئ وغطست

إلى الأعماق شواطئ أخرى . وكان لا بد من الاقتلاع عن هذه الطريقة البسيطة جداً ، من أجل العودة إلى دراسات إحيائية ومورفولوجية (شكلية) دقيقة مثل دراسات ف . كومونت Commont ، والأباتي بروي وف . بورديه الذين أجروها في وادي نهر السون ، وكذلك الدراسات التي أجراها ج . تريكارتر Tricart في وادي نهر السين الأعلى .

الرسوبات في الكهوف - إن الدراسة الأكثر يقظة لرسوبات الكهوف ، سطحاً فوق سطح ، لما فيها من حيوانات ومن معدات ، أتاح الحصول على دقة أكبر فيما يتعلق بالطبقات الأرضية وتسلسلها . وهكذا ارتدى الإنسان العالم « هومو سابيلانس » السابق على المستيريان والذي اكتشفته الأنسة هنري - مرتان في كهف فونتشيفاد ، كل أهميته . إن هذه الدراسات على الأرض استكملت بفضل تقنيات جديدة أتاح دراسة معادن الصخور المنقولة مثل الرمال والطيني ، وغبار الأشجار والغابات كما أتاح تحديد تاريخ بعض المعالم العضوية سنداً للكربون المشع ^{14}C ، الخ .

دراسة النباتات - إن التحليل البوغي للحمر الذي باشره ك . إ . برتران سنة 1899 قد استمر في كل أوروبا . وفي فرنسا أتاح أعمال ج . دوسوا وج . ليمي ومدام فان كامبو توضيح دراسة تطور المجموعات الحرجية تبعاً لتغيرات المناخ . إن علم « الإحالة المناخية » يقدم خدمات جلّى » .

وقدمت المستودعات الأخرى الرباعية عناصر عن النباتات أتاح تتبع تطور النباتات تبعاً لتطور المناخ .

وقد تم بصورة خاصة دراسة الهجرات الأفقية والعمودية في بعض المناطق الجبلية (لوران ومارتي ، هـ . غوسن ، الخ) ، وتغيرات النباتات الحرجية في أوروبا تبعاً لانتشار الجليديات (ف . غينيه ، هـ . غامس ، 1949) ، الخ . واعتمدت نفس الطرق في أميركا الشمالية وفي الاتحاد السوفياتي .

دراسة الحيوانات - إن دراسة الحيوانات انطلقت انطلاقاً واسعة في القرن التاسع عشر ، وتتابعت بنشاط . وقد لوحظ أنه من بعض المئات من أنواع الثدييات التي عاشت في العصر الرابع انقرض خمسة عشر نوعاً عن سطح الكرة الأرضية (مثل الماسيرودوس والماموث) . أما الأخرى فما زالت تعيش دائماً ، ولكن مساحة توزيعها الجغرافي قد تغيرت . وهناك ثلاثة أنواع مختلفة من الحيوانات عاشت في أوروبا الغربية بخلال العصور الرابعة :

أولاً - حيوانات حارة ، من النمط الأفريقي أو الهندي الأفريقي ، متميزة بالفيل القديم ، ووحيد القرن المرمي (نسبة إلى مارك) ثم فرس النهر البرماني ، وكذلك الأسد والضبع .

ثانياً - حيوانات السهب ، وتتميز بالأنيلوب سيقاً وحصان زويآلسكي ، والهميون ، والمارموت بوباك . وفي منطقة حرجية قليلاً يضاف إليها البيزون والأوروس وفي منطقة أكثر حرارة بقليل هناك الأسد والضبع .

ثالثاً - حيوانات باردة مثل أنواع في التايغا والتونдра وتتميز ببعض الأنواع التي ما تزال تعيش في الشمال : مثل الرنة والشور المسكي ، والثعلب القطبي والأرنب الأبيض ، ثم بحيوانات زالاها : الماموث ووحيد القرن الأصوف .

وقد ظن العلماء أولاً أن الحيوانات الحارة قد عاشت طويلاً جداً وإنها ماتت بالبرد في المرحلة الجليدية الرابعة (مرحلة فورم) واستبدلت بالحيوانات الباردة كالرنة والماموث . الواقع أن هذه الحيوانات لم تستطع تحمل البرد الأقل حدة في الجليديات الأولى ، فهاجرت نحو الجنوب ثم عادت نحو الشمال بخلال الجليديات المتقطعة (انترغلامير) . ووجود أحد عشر زيحاناً للأرض يدل على وجود إحدى عشرة مرحلة باردة مروّعة بين العصور الأربعة الجليدية ويدل على أن هذه الحيوانات كانت في حركة دائمة إلى أن حل البرد الكبير وشمل حتى شواطئ المتوسط ففضى على كل امكانية لجوء نحو البلاد الحارة . هذا التصور الذي حورب طويلاً ، ثبت ، خاصة في فرنسا ، (وادي نهر الموم ، الأباتي هـ - بروي) ، في هضبة فاسينكور (آ . باك ور . فوفري Vaufrey) وفي إسبانيا (كهف كاستيلو ، منطقة سانتاندير) ، بفضل إثبات تتابع وتكرار الفيل القديم والماموث . وفي كهوف جبل الكرمل (فلسطين) أمكن استنتاج تسالي المناخات من نسب ضالّة الغزلان (السهب الناشفة) والأيل (ريم) (الأحرار) . ويدل وجود مزيج من الأنواع الحارة والباردة ، في العديد من المهاد المرتبة ، على أنّ المناخ في بعض الحقب قد تضمّن فصلاً بارزة نوعاً ما مما يتيح تواجد هذه الأنواع .

الأوربوييتيك oréopithèque - ان الاكتشاف الحاصل سنة 1958 ، لهيكل عظمي عجيب لشبه انسان في اللينيت الميوسيني في باكينيللو (توسكانة ، إيطاليا) رد الانتباه إلى الـ « أوربوييتيك » المكتشف سنة 1872 . ان شبه الانسان هذا ، بقامة الشمهتزي ، ذا الوجه الادق قليلاً [طويل الفكين بارز الاسنان] ، يمتلك أسناناً بشرية وحوضاً ذا قدامين (وهي من علامات البشريين) . ان هذا الحوض يجعله وكأنه فرع من البشر ، انفصل باكراً وتطور على موازاة فرع الأشكال البشرية ، وتاه في طريق بدون نهاية ، فظل الأوربوييتيك نباتياً وانقرض بدون ذرية معروفة .

البشر المتحجرون - كشف القرن التاسع عشر عن جد منازع بشأنه هو البتيكانتروب ، وعن إنسان منازع بشأنه أيضاً ، إنسان النياندرتال ، وعن أناس من العصر الحجري الجديد الأعلى « كرو - مانبون وشانسيلا » . وفي القرن العشرين تكاثرت اكتشافات البشر المتحجرين ودراساتهم سوف تكون مثمرة .

في القاعدة هناك « أوسترواليتيك » ، المكتشفون في أفريقيا الجنوبية منذ سنة 1925 ، وهم كائنات بقامة الشمبانزي ، ذوو قامة منتصبة ؛ سعة الجمجمة 600 سنتم³ ولهم أسنان من النمط الوسيط . وعاشوا في بداية عصر بلستوسين (في قبلا فرانسيان) . ولكن للتأكيد بأن هذه الأوسترواليتيك تشكل أول رسة للبشرية كان من الواجب التأكد من أن المعدات الخشنة جداً في عصر بلستوسين الأسفل (كرات متعددة الجوانب وكرات بشكل حصي مهذبة من البلور الصخري

pebble culture) هي من صنعها ، وحلت المسألة سنة 1959 عندما اكتشف الدكتور ومدام ليكي في تانغانیکا إنساناً آخر أسترالوبيثيك (زينجان ترووبوس بوازي) ، مقروناً بصناعاته الحجرية، مما يثبت أن الأسترالوبيثيك هم بشر من أسلاف الإنسان مباشرة . وعثر على إنسان آخر من قبل كويس في القرب من تيسيتي في التشاد ولا تعرف اليوم أسترالوبيثيك إلا في إفريقيا ولكن حضارة الحصى والبلور الصخرى موجودة أيضاً في أوراسيا .

وأقرب إلينا (قاعدة بلمستوسين الأوسط) يقع أركانتروبيان أو بيتيكانتروبيان . واكمل من الأسترالوبيثيك نعرف الآن أربعة أنماط هي : إضافة إلى بيتيكانتروب جابوا (الذي اكتشف منه اليوم عدة نماذج) وإلى إنسان موير أو مويرانتروب ، الذي عثر عليه سنة 1907 يضاف سينانتروب (إنسان الصين) الذي اكتشف من سنة 1922 إلى سنة 1940 في شو - كو - تيان (الصين) وبرفته صناعة حجرية خشنة (وحجم الجمجمة يتراوح بين 1000 و 1200 ستم³ والقامة تتراوح بين 155 و 160 ستم) . وأخيراً في سنة 1954 اكتشف ك . آرامبورغ و . هوفستتر الاطلانتروب في البليستوسين الأوسط في ترينفين قرب باليكاو (الجزائر) مع معدات تشبه معدات شيليان - أشوليان . وأدت هذه الاكتشافات إذاً إلى مفهوم مجموعة قديمة من البشر عرفوا بهذه الصفة ، وتضمنت كائنات مختلفة قليلاً بحسب القارات .

إلا أن اكتشافات أناس من نمط النياندرتال قد تكاثرت أيضاً . فالهيكسل العظمي في شايل أوسان (كورين) المكتشف سنة 1908 من قبل آ . وج . بويسوني ، وباردون ، والذي درس من قبل م . بول ، يقع عند مستوى وحيد القرن الأصوف والرنه (القورمي) ومقرون بمعدات من نمط موسيريان . وتلت اكتشافات أخرى : في موسيتيه (دوردون² 1908) وفي الفرآسي (دوردون³ 1909-1911) في لاكينا (شارانت ، 1911-1920) ، وفي جبل سيرسي (إيطاليا 1939) وفي اوزباكستان (1939) الخ . لم يظهر أي أثر للرجال المتحجرين ، على كل حال ، بين بيتيكانتروب بداية بليستوسين الأوسط والحقة الرابعة الجليدية ؛ ولكن هذه الثغرة التي مدتها 600000 سنة ، لم تصدم أحداً لأن إنسان النياندرتال بدا الوسيط الطبيعي والوحيد بين النمط القديم بيتيكانتروب - سينانتروب ، والإنسان العارف . وجاءت بعض الاكتشافات المشهودة تغير وجهة النظر هذه .

نشير للذكرى إلى « إنسان ييلدتون » ، بقايا جمجمتين بشريتين بعظام سمكة ، عثر عليه سنة 1911 و 1916 بقرب نيوهافن ، ومعهما فك غريب شامبانزي الشكل . وهذا « الاكتشاف » ما يزال يناقش منذ ذلك الحين وتبين سنة 1953 أنه تزوير .

وهنا « لقيتان » أخريان لا نقاش حولهما . نذكر في بادئ الأمر إنسان سوانسكومب (وادي نهر التاميس) . هذا الإنسان مزود بجمجمة سمكة حجمها يقارب 1350 ستم³ مكعباً ترافقها عظام فيل قديم ومعدات من النمط أشوليني أعلى ، وهي تعود إلى العصر الحجري الحديث الأدنى (بين جليدية مندل - ريس) . إن الجمجمة من نمط مماثل المكتشفة في كهف فونتشفاد (شارانت) من قبل الأساة هنري مارتان (1947) والتي وصفها ه . ف . فالوا ، تعود أيضاً إلى بين جليدية سابقة على التجلد القورمي .

وعلى كل حال ومنذ نهاية العصر الحجري الحديث الأدنى ، يوجد برهان على وجود (إنسان

عارف (قديم جداً ، مما يقتضي وجود فرعين بشريين تميزاً بأكراً : الانسان العارف القديم (أو السابق المعرفة) وإنسان نياندرتال الذي قضى عليه قبل العصر الحجري القديم الأعلى . فضلاً عن ذلك تم اكتشاف رجال محتجرين متنوعين (اهرندورف وستينهايم في المانيا ، وكرايينا في يوغوسلافيا ، وساكوياستور في ايطاليا ، وجبل طارق وفلسطين) تجعلهم بعض سماتهم النيندرتالية في الجمجمة - وذلك بعد نقاش طويل - كسابقين للنياندرتال (هـ . ف . فـالوا وج . بيفيتو) وقد صنفوا تحت اسم باليانثروبيان .

تبدو الدراسات الاكثر حداثة لصالح العرق الواحد ، واستنتج ج . بيفيتو ، بعد مراجعة لمجمل هذه المسألة (الوسيط في الاحاث ، مجلد 7 : أشباه الانسان والاحاث البشرية ، 1957) ، ان إنسان ستينهايم واهرنندورف ، الشكل النهائي للإنسان الاشولي ، يحتوي بالقوة النمطين الشريين المتأخرين « إنسان نياندرتاليس » ، وهو نمط تفهقري لم يشأ الا قليلاً ، والانسان العارف ، الذي يمثل في فرنسا ، في العصر الحجري القديم الأعلى ، باعراق كرو- مانيون ، وشانيلاد وغريمالدي الذي بقي وحده سيد العالم . وقدم الميزوليتيك (الألف العاشر قبل عصرنا) عنصراً جديداً : جيشومية الرأس في اناس أوفنت (بفاريا) وأماكن أخرى .

وأمام العدد الكبير من مهادر الرجال المحتجرين ، الذين ظهرأ (200 في أوروبا ومثلهم في الخارج) كان لا بد من كتالوغ انتقادي . وظهر اثنان من هذه الكتالوغات سنة 1936 بعناية و . أ . كنستد من جهة وبناية أ . هو من جهة أخرى . وكانت هذه الكتالوغات مفيدة نظراً لأهمية المراجع الكتبية فيها ، ولم تتضمن لا وصفاً ولا توضيحاً يتعلق بالطبقات والقشرات . ونشر كتالوغ آخر جديد ، حرره 35 مؤلفاً ، تحت ادارة هـ . ف . فـالوا وهـ . ل . موفيوم وذلك ببنه 1952 ضمن محاضر المؤتمر الجيولوجي الدولي في الجزائر .

الصناعات الحجرية - لقد ميز علماء ما قبل التاريخ الاثريون في القرن التاسع عشر عدة صناعات متتالية : الحجرية القديمة وفيها : (الشيلين والاشولين ، والموسستيرين والسولوترين والماجدالين) ، والعصر الميزوليتيكي وفيه : (الازيلي والتاردينوزي) والعصر النيوليتيكي ذو الحجر المقصوب . وهذه السلسلة سوف تكتمل في القرن العشرين .

والمسألة الأولى هي مسألة الصناعات البشرية الأولى التي قامت في أساس العصر الرابع . فبعد الادوات المقصوبة القليلة الملفوفة قليلاً ، والبداية جداً التي عثر عليها في مهادر سانت برست (اورولوار ، فرنسا) يشار الى القبضه ذات الوجهين الخشنة والى الصوان المحدد الاسنان في كراغس في انكلترا (ويبورن ، نورويتش ، ايسويتش) والتي تناقش كثيراً . وتم اكتشاف كرات متعددة الجوانب من قبل ك . ارانبورغ في الفيلافرانشين في افريقيا الشمالية ، في حين ان مستويات قديمة قدمت حصوات مدورة ومنممة (حضارة الحصى) . كل هذا دل على وجود شيليان أول ، عرف تقريباً منذ بداية الپليستوسين (واذاف اليه ج . بلانشارد البلميان) . ان هذه المرحلة تتوافق بالفعل مع مرحلة قديمة جداً من عمر البشرية ، هي مرحلة الاوسترالوپيتيك ، في حين ان الشيليان والاشوليان القديم يتوافقان مع حقبة بيتكانتروپ ، وسينانتروپ ومورانتروپ واطلاتنروپ

(انسان جاوه ، انسان الصين) . . .

في سنة 1930 ، ادخل بروي حبة جديدة في العصر الحجري القديم الاسفل ، هي حبة الكلاكتونيان ، والصناعة ذات الشذرات البسيطة جداً ، التي اكتشفت في انكلترا ، وعثر عليها مجدداً في فرنسا كما في افريقيا . . في العصر الحجري القديم الاوسط ، اتصل الليفالوزيان ، ذو الشذرات بالأشوليان وبالموستيريان ، في حين ان الأورنياسيان (كارثيلهاك ، 1906 والاباتي بروي) يدل على الصناعة السابقة على السولوتريان (د . بيروني مِيز فيه بيرغورديان محلياً واحداً) .

وقليلاً قليلاً امتدت هذه الدراسات إلى آسيا وإلى افريقيا .

ما قبل التاريخ في آسيا - في حين كان علماء الآثار السوفيات يستكشفون الاراضي الواسعة في سيبيريا وتركستان ، كان الفرنسيون والاميريون والصينيون ، ابتداء من سنة 1923 ، يكتشفون العصر الحجري القديم في الصين . في سنة 1927 عُرِف د . دافيدسون بلاك ود . بوهلن سينانروب شو - كو - تيان ، في جوار بكين . وعلى مستوى أعلى اكتشف د . و . ك . بي ، سنة 1933 ، سبعة هياكل عظمية لانسان عارف ، وصناعة من العصر الحجري القديم الاعلى .

في الهند ، درست يال نورث انديا اكسبيديشن (ه . دي تِرا ، ت . ت . باترسون وب . تيلهاردي شاردان) سنة 1935 التشكيلات الرباعية في البنجاب وفي كشمير ، وعرفت فيها سلسلة كاملة بادواتها وحيواناتها .

في فلسطين اعادت المصادر الانكليزية والاميركية (بادارة مس غارود وم . ماك كون) والفرنسية (م . نوفيل) تركيب ما قبل التاريخ ، باكتشاف صناعات جميلة ، والناس المتحجرين في العصر الحجري القديم النهائي .

وفي الطرف الآخر من آسيا ، في اندونيسيا ، تم توضيح وضع بيتيكانتروب ، واليه تعزى صناعة بادجيتان Padjitan الاحاثية . وفيما بعد قاد اكتشاف رجال السولو la Solo ، ثم رجال واد ودجاك إلى أناس هوايبنيان ، اسلاف الرجال الحاليين .

قبل التاريخ في افريقيا - حقق « قبل التاريخ » الافريقي تقدماً ضخماً في القرن العشرين . إن الصناعة البدائية عند الاوسترالوبيك ، والحضارة الحجرية « Pebble culture » التي وجدها هناك ك . آرامبورغ ، ما تزال معروفة في افريقيا الشرقية تحت اسم كافون (أ . ج . ويلاند) ، في الكونغو ، وفي انغولا ، وفي افريقيا الجنوبية .

وقد عثر على العصر الحجري القديم الاعلى الكلاسيكي الاوروبي ، في كل افريقيا ، بما فيها الصحراء التي كانت مأهولة جداً ، في العصور الرطبة من العصر الرابع . انها صناعة البيتيكتروبيان ، الذين نعرف نمطاً واحداً منهم على الاقل ، اطلاتروب افريقيا الشمالية .

إن الطبقتين الوسطى والعليا من العصر الحجري القديم تظهران اشكالاً متنوعة ، اثبتت في أماكنها مع الزمن . العصر الجديد في الصحراء أصبح الآن معروفاً تماماً ، ليس فقط بفضل معداته

الحجرية ، بل أيضاً بفضل محفوراته العديدة وتساويره الصخرية rupestre ، المكتشفة انطلاقاً من موريتانيا حتى نيبتي . وفيها نميز حقبة قديمة جداً بخلالها حقرت جماهير من الصيادين صوراً لحيوانات بوية بحجمها الطبيعي (فيلة ، فرس نهر ، الخ) ، وحقبة أحدث حيث قامت جماهير من الرعيان برسم حيوانات اليفة ، الثيران بصورة خاصة . وبعد ذلك بكثير ، في الألف الأخير قبل عصرنا ، ظهرت تصاوير العربات التي تجرها الميول ، ثم بعدها أيضاً تصاوير الجمال .

في كل مكان تقريباً نجح الجيولوجيون والآثريون في وضع الملاحظات قبل التاريخية ، ضمن إطارها الجيولوجي ، مما أتاح فهم تطور الإنسان الأفريقي ، وفهم تطور الصناعات الحجرية ، والحيوانات والنباتات والمناخات . ويمكن أن نذكر بنوع من العجب والدهشة ، أنه خارج وادي النيل لم تعرف أفريقيا عصور المعادن . إن برونزيين الشهير يعود إلى القرن الخامس عشر من عصرنا .

وعرفت سنة 1955 ، ظهور ثلاثة مؤلفات أساسية هي : قبل التاريخ في أفريقيا الشمالية لمؤلفه ل . بالوت ، قبل تاريخ أفريقيا (مجلد 1 : المغرب) للمؤلف ر . فوفري ، ثم قبل تاريخ أفريقيا لسانسة م . أليمان . في سنة 1960 ، نشر ج . د . كلارك قبل تاريخ جنوب أفريقيا (بالانكليزية) .

قبل التاريخ في أميركا - إن أميركا الشمالية ، كما إسكندنافيا كانت مغطاة جزئياً بطاسة جليدية ، بخلال قسم كبير من العصر الرابع ، وتاريخها بخلال هذه الحقبة قد درس بشكل خاص من قبل أنتفس و . ر . ف . فلنت .

وبخلال امتدادها الأقصى ، امتدت الجليديات المتمركزة حول كندا فوق أكثر من عشرة ملايين كيلومتر مربع ، ونزلت حتى الخط 39° من خطوط العرض الشمالي ، أي بمقدار 11 درجة جنوبي أوروبا (إن خطوط تساوي الحرارة الحالية ترسم نفس المنحنى ، بتأثير من التيار البارد تيار لابرادور) . في أميركا الشمالية ، عثر الجيولوجيون ، كما في أوروبا على أربع حقبة كبرى جليدية : نبراسكا ، كانساس ، إلينويس ، ويسكونسين ، وعلى « بين جليديات » مماثلة . إن التحاليل الطلعية ، ودراسة الرسوبات ، أعطت نتائج مشابهة لنتائج أوروبا ، كما جرت محاولات تزامنية .

وبالمقابل ، لم يعثر في أميركا على مثل هذا الخصب في الصناعات البشرية ، خصب أتاح فهم قبل تاريخ العالم القديم . فالكهوف والطمي القديم ، لم تعط شيئاً تقريباً ، مما يؤكد أن اجتياح الإنسان لأميركا ، عن طريق برزخ أو مضيق بيرنج هو حدث جديد يعود إلى عشرة آلاف سنة على الأكثر ، في الحقبة الميزوليتيكية .

إن علماء الاحاثه الاميركيين الذين كانوا يتمنون لو ان لهم حدوداً أبعد ، يذلون بحوثاً ناشطة . مثل ذلك حال ف . آميغينو (1854-1911) ، « مخترع » الإنسان الشالي في أميركا الجنوبية .

ان هذا المعلم الارجتيني ، المتحمس لقراءة كتب ليل وداروين ، قام بعدة تنقيبات وجنى عدداً كبيراً من الثدييات المتحجرة درسها بفائدة قصوى (راجع مجلد III) ؛ ولكنه اراد باصرار ان يبين نظرية شخصية بموجبها يكون « الانسان » اصلاً من اميركا الجنوبية حيث كان ظهر في منتصف العصر الثالثي ، بشكل كائن صغير « هومونكلوس پاتاغونيكوس » . في سنة 1906 ، كان نظامه كاملاً . وتلت الهومونكلوس أربعة بروتوموس ، هي أيضاً ثالثة (في الحقيقة انها هياكل عظمية لأكلات لحوم ، كائنات اسطورية ، أو هي عظام هنود حمر حديثين) تتبع بيتيكانتروپ جاوة ثم « الانسان » الحقيقي .

وعارض الاحاثي الاميركي الشمالي آلس هردليكا بشدة هذه النظرية ودحضها . بعد أن زار المهادر الارجتينية ، ودرس المواد المعنية . ثم راجع أيضاً مواد اميركا الشمالية (كالافيراس ، ترانتون ، لانسنغ ، لوس انجلوس ، ملبورن وفيرو (فلوريدا) ، مينيسوتا ، إلخ) واستنتج انه من الواجب الالتزام بنظرية الاصل الآسيوي للإنسان الاميركي .

وبعد ذلك اثبتت طريقة الكربون 14 ان انسان تيكسبان (المكسيك) ، الذي اكتشف سنة 1947 ، ضمن مستودع بحيري وبرفقة ماموث ، لا يرقى إلى أكثر من عشرة آلاف سنة تقريباً .

ويبدو من الثابت الآن ان قبل التاريخ الاميركي محدود بما يوافق ويطاق العصر الحجري الأوسط والعصر الحجري الجديد الأوروبيين . ان النمط الأقدم بالنسبة إلى سكان اميركا الاصليين أي « الهنود الحمر » ، يجب ان يفتش عنه في آسيا الشرقية . والاسكيمو الذين كانوا يقطنون الاسكا وشمال كندا ، وغرونلاند يبدو انهم جاءوا من سيبيريا الشرقية ، وفي عصر حديث جداً .

والمعادن الأكثر قديماً المعروفة ، رمع مسنن ذو أوجه سولوترية ، عشر عليه سنة 1927 في كهف ساندبا (نيومكسيكو) مع عظام بيسون وفيل وماستودونت .

وفوق ، كشف نفس الغار مستوى أكثر حداثة ، يحتوي على حيوانات وعلى معدات تسمى من نمط فولسوم . ان هذا النمط من الصناعة ، المكتشف في نفس السنة في محلة فولسوم (نيومكسيكو) يتميز برمح قصير ، المصنوع بدقة والمزود باخدود متوسط . وتحتوي الحيوانات على آخر الماموثات الاميركية . هذا المستوى الأثاري يعتبر عادة كمعاصر للعصر المتوسط (الميزوليتيك الاوروبي) (الالف العاشر قبل عصرنا) .

وهنا حضارة أقرب وأحدث ، هي حضارة رماح يوما (كولورادو) ، المصنعة بدقة ، وغير المجوفة كرماح فولسوم ، والتي قد تكون ذات قبضة ومركبة بالسكين . وحده المستوى الأكثر بدائية في هذه الحضارة سابق لعصرنا ، ويحتوي حتى الآن ماموثاً وعرقاً باندأ من البيسون .

تطور الفن والفكر - لا نعرف شيئاً أكيداً حول حياة ناس العصر الحجري القديم الاسفل . ان تربية المواشي والزراعة لم تكن قد ظهرت الا في العصر الحجري الحديث ، ونستطيع أن نتخيل ان أسلوب عيشهم كان شبيهاً بأسلوب عيش بعض الرئيسيات (أشباه الإنسان) الحديثة التي

عاشت قبل الاجتياحات الأوروبية ، عيشة متنقلة إلى حد ما ، نقتات من القنص ومن الصيد البحري ومن القطاف .

وسرعان ما تعلم الانسان استخدام النار ، وصنع تقنيات متنوعة لاستخدام المواد الأولية اللازمة للمعدات وللأسلح .

المظاهر الحفرية الاولى : أقماص تعود إلى العصر الحجري القديم الاوسط ، وإلى المستيريان ، ولكننا نجهل مدلولها . في هذه الاثناء كان إنسان نياندرتال قد توصل إلى تطور في الفكر حمله على ممارسة الطقوس الدفنية . وفي العصر الحجري القديم الأعلى كانت المدافن المعثور عليها أكثر عدداً والطقوس أكثر تعقيداً (مجلد I) .

أشرنا (مجلد III) إلى الاكتشافات الاولى في الفن قبل التاريخي ، التي جرت في القرن التاسع عشر . في القرن العشرين ، ان اكتشاف المحفورات والصور الملونة قد تكاثرت ، منذ كهوف كومباريل ، وفونت - دي - غوم إيزي (1902) حتى كهوف لاسكو (1940) ورفينياك (1956) . كل هذا الفن يرتبط بالباليو ليتيك أو العصر الحجري القديم الأعلى (أورنياسيان ، ماغداليانيان) . وإذا بقيت المظاهر الفنية الحقيقية نادرة نسبياً ، فإن المغاور المزينة متعددة ، وإيل دي فرانس نفسها تقدم أكثر من ألف منها ، تشكل مجملأ فريداً بالنسبة إلى أوروبا الغربية .

لقد بين س . ريناش ، ج . ديشليت وج . غوري ان الفن الرابعي كان مرتبطاً بالسحر . فأغلبية المحفورات والتصاویر واقعة فعلاً في أماكن غير مطروقة كثيراً ، ويمكن ان ترتبط بممارسات تعبدية (مسجودية) وهي من مواضيعها المفضلة : الدفاع ضد الحيوانات الخطرة ، ومهاجمة الطرائد ، هما من فن الصيادين . في هذه الحقبة نفسها ظهرت عبادة الخصب ، يدل عليها كثرة الانصاب النصفية « لفينوس » بدائية ، اكتشفت ابتداء من فرنسا وصولاً إلى سيبيريا ، مروراً بإيطاليا والنمسا . وكلها ذات سمات مشتركة ، وذات أشكال ضخمة وبطن بارزة . وبعض المشاهد الحيوانية تحيي نفس العبادة .

هذه الرسوم على الأشياء المنقولة ، وهذه الانصاب الصغيرة ، وهذه التصاویر الملونة والمحفورات ، والمنقوشات والمنحوتات على جوانب الكهوف ، وهذه المراسم الدفنية ، تمكنا من تخيل مظهر من مظاهر الفكر البشري يعود إلى العصر الحجري القديم الأعلى ، أي إلى حوالي خمس وعشرين ألف سنة . وتلت هذه المعالم معالم من العصر المتوسط (ميزوليتيك) ، والحديث (نيوليتيك) وعصر المعادن . ان الحضارة النيوليتيكية أي الحجرية الحديثة ، امتلكت الزراعة وتربية المواشي ، وتثبيت الانسان في القرى وولدت الحضارة المدنية . ويعددها تنتقل إلى البروتو - تاريخ أو التاريخ الأولي وإلى تطور الحضارة المدهش . وهكذا بعد التقدم اللامحسوس المتدرج عبر مليون من السنين ، انتقل الانسان فجأة ، وبخلال اقل من عشرة آلاف سنة ، من استعمال الحجر المقصوب إلى استعمال الطاقة الذرية .

الفيزيولوجية النباتية

I - النمو والتطور : الاوكسينات

إن دراسة النمو والتطور ، وهي وظائف تقتضي ظاهرات الاستطالة ، والتكبير ، والقسم ، والتفريق الخلوي ، وعلى مستوى المجمع ، مبدأ أعلى من التكامل ، تشكل أحد الفصول الجديدة الأكثر تشويقاً في الفيزيولوجيا . ومظهرها الأكثر بروزاً هو مظهر العرق الهرموني phyto-hormone .

إن النبتة التي تنمو وتتطور تنوجد تحت التبعية الضيقة والضرورية لعوامل الوسط ، وخاصة الضوء ، ودرجة الحرارة ، ولكنها تتجاوب معها لصالحها وذلك بتشغيل أواليات معقدة تنظم الهرمونات : من هنا المظهر المزودج لمسار البحث ، الذي اهتم بالدرجة الأولى بتحليل السلوك ، ثم التفت نحو معرفة الحتميات العميقة .

وتلت مرحلة الرواد ، منذ خمس عشرة وعشرين سنة ، الاستكشافات المنهجية المركزة على بعض المكتسبات الأساسية الحديثة ، معاملة وسائل قوية . هذه المرحلة الحاسمة وسمت أولاً بالتحرف على هورمون النمو « الاوكسين المتنوع » ، وباكتشاف تطبيقاته ، ثم ببناء المحابس التجريبية (المختبرات) المعقدة والدقيقة ، من نمط جديد (فيتوترون) ، وكان أول نموذج منها ، هو نموذج البروفسور ف . و . ونت في باسادينا ، ويعود إلى سنة 1942 .

وعلى أثر الاعمال التي جرت حوالي سنة 1922 ، حول تربية الجلود المستأصلة (و . ج . رونس) وغيرها من الاعضاء ، توفرت شروط تحقق خطوة كبرى . وبعد مرور ثلاثين سنة على المحاولة الاولى التي قام بها هابرلاندت قام ر . غوثيرت (وبلات الرقت تقريباً ب . ر . وايت وپ . نويكورت) بانتزاع الزراعة اللامحدودة للانسجة النباتية (1938-1939) . وبين السنوات 1934 و 1939 ، تأسست فيزيولوجية النمو والتطور حقاً . وتطورها سوف يكون مفيداً تماماً على الصعدين الفيزيولوجي والبيوكيميائي . وبالفعل ، لما كانت كل اعضاء النباتات العليا تحت سيطرة الهرمونات ، فإن زراعتها ، أو زراعة الاجزاء البسيطة منها ، في اماكن تركيبية ، يمكن أن تتيح اكتشاف وتعريف بعض من هذه المواد الكيميائية الخصوصية التي تؤثر بمعايير متناهية الصغر على اعضاء غير الاعضاء التي استحدثتها : مثل التيامين ، والفيتامين ب 1 ، الذي هو أيضاً هورمون (بوتر 1938, Bonner) ، المركب ضمن الاوراق الخضراء ، والهيريديوكسين أوفيتامين ب 6 ، الخ .

وتتيح فيزيولوجيا النمو كذلك تجديد مفاهيمنا حول الفيتامينات (و . هـ . شريفر 1934 ، 1949) . فضلاً عن ذلك ، فتحت سبيل جديدة باكتشاف « الجبيرلين » بأنواعه ، وهي مواد ، من مضاعفاتها الكثيرة أنها تستطيع أن تطلق الضخامة في الأنواع القزمة ، أو توقف ، من سباتها ، البراعم والبذور . منذ 1926 ، اكتشف آ . كوروساوا (فورموزا) أثر « الجبيرلين » على النمو : أنه لم يكن يومها إلا عصارة غير نقية ، ولكنه كان ناشطاً . ولأول مرة استخرجت مادة هورمونية من نبتة ؛ وكان لا بد من مرور ما لا يقل عن ثلاثين سنة ، لكي تنتقل إلى المرتبة الأولى من البحث .

إن دراستنا تناول بشكل خاص مجموعة الهرمونات الأكثر نباتاً ، وهي الأوكسينات كما تناول بعض المظاهر الهرمونية حول النمو .

الحتمية الهرمونية في الانتحاءات - يعود تاريخ اكتشاف الانماط الهرمونية إلى البحوث الكلاسيكية التي قام بها شارل وفرانيسيس داروين (1880) المتعلقة بمفعول الضوء على توجه أعضاء النباتات . دلت هذه البحوث على أنه في المجنّحات Coléoptile والقطنيات graminées ، يبرز النمو ، على مسافة من الذروة ، مع بقاءه تابعاً مباشراً لهذه الذروة وما فيها من إحساس بالضوء ؛ أن الحافز والتجاوب مع الحافز يقعان اذن في أجزاء مختلفة من العضو .

والى الدانمركي ب . بوازن - جنسن والى الهنغاري آ . پال ، من مختبر فيقر يعود الفضل في ادخال مفهوم « مادة النمو » بالذات ، والتي اوجت بها اعمال هـ . فيتغ . وبسلسلة من التجارب البسيطة ، الدقيقة والانيقة ، بين الاول (1913) ان الحافز المنقول من الرأس إلى منطقة النمو ، هو ذو طبيعة مادية ، وأنه قادر على اختراق حاجز من الجيلتين ، وأنه ، عندما تكون الاضاءة وحيدة الطرف ، فان الانتقال يتم من الناحية غير المضاءة . وبين پال (1919) ان الرأس المقطوع في الكولوتيل Coloptile ، اذا أعيد إلى مكانه فوق الجذعة ، انما جانبياً ، بحيث لا يحتل إلا قسماً من المقطع ، يحدث انعطاف ترتفع من الجانب غير المغطى ، ويتم هذا حتى في حال انعدام الضوء . وبعد أعمال هـ . صودنغ (1925) ، فصل تأثير الضوء عن تأثير مادة النمو . واتطلاً من هذه الوقائع ، أكد الفيزيولوجي الروسي ن . شولودني (1926) ، ان كل الانتحاءات تنتج عن نمو تفاضلي مرتبط بتوزيع تفاضلي في الهرمون . ونجح واث (1926-1928) ثم دولك (1929) في اسر المادة المعنية بفضل طريقتهم البيولوجية بالتشاور في الأغار Agar الذي مهد الطريق إلى الاستكشاف النوعي والكمي للهرمون . بين واث ان الضوء يغير في توزيع الأوكسين ، وفيما بعد ، وبعد فان در وبيج (1923) ، بين بأن منحى دوران الهرمون ، من الرأس حتى القاعدة ، مرتبط باستقطابية العضو ؛ ان دوراً ما للجاذبية الأرضية قد عُرِف على كل حال (دولك) . ان الاثر الدقيق للهرمون على الاستطالة الخلوية قد ثبت بفضل تجارب آ . ن . ج . هاین (1931) : ان الهرمون يزيد في ليونة (الاستطالة التي لا رجعة فيها) الغشاء الاولی ، لا في المطاطية .

دلت أعمال ج . بونر (1933) ، وأعمال كومونر وك . ف . تيمان (1941) ان نوعاً من الرباط موجود بين النمو ، الذي يقترن بدخول ماء إلى الخلية ، وبين التنفس ، وهذا يقدم الطاقة اللازمة إلى الخلية . ومنذ 1942 ، تقررت العلاقة (مس . د . أ . ريندرس) بين تزايد امتصاص الماء من

قبل الخلية ، وتزايد التنفس . وبدا ان النمو لا يعود إلى مجرد تفاعلية امتصاصية ، بل انه يتعلق أيضاً بنشاط السيتوبلازما .

وعن طريق الأسلوب المسمى رائتر - الشوفان ، الذي وضعه وانت ، تم اكتشاف الهورمون في شتى النباتات ، وأيضاً ، بكميات أكبر بكثير ، في البول البشري . ان عزل وتحليل هذه المادة قد تم بفضل البيوكيميائيين الهولنديين ف . كوجل ، وآ . ج . هاجن - سميت وه . اركسليين (1933-1934) .

عمل هؤلاء العلماء على البول فتوصلوا ، بعد بحوث مدهشة مرتكزة على استعمال طرق التحليل الميكروسكوبي الى تحديد ومعرفة الهورمون الشهير ، الذي اسموه « هتيرو - أوكسين » والذي كان ، ببساطة الحامض 3 - اندول - أسيتك ، المعروف منذ 1885 ، والذي كانت مجهولة خاصيته الفيزيولوجية . وبدا ممكناً ان هذا الحامض ليس وحده هو المعني في الظواهر المرصودة . فقد اكتشف كوجل ، وهاجن - سميت مستحضرين جديدين وناشطين جداً الأوكسين⁽¹⁾ آ (a) وب (B) . وقد أثبتت الأعمال الحديثة أن الحامض اندول - أسيتك ، الذي عزل في حالة النقاء الكيميائي ، هو فعلاً هورمون مجنحة القطانيات . وبالمقابل ان البرهان لم يقدح دور الأوكسينين أ وب ، ولا حتى على وجودهما في النباتات .

حامض اندول - أسيتك وخصائصه الفيزيولوجية - قبل معرفة وتحديد هورمون النمو وقبل وضعه صناعياً ، اسندت إلى مفهولة عدة وظائف . ولكن البحوث ظلت نوعاً ما تجريبية كيفية . وابتداء من سنة 1934 ، ارتدى علم الأوكسينات ضخامة كبرى وأدى إلى جملة من النتائج .

منذ 1930 ، اجريت بحوث حول تأثير الهورمونات على تأصيل الجذور وعلى تعطيل التطور في البراعم . وبين ك . ب . تيمان ووانت ان حامض اندول - أسيتك يتسبب في تجذرة الفسل ، ولكن بعض الاستثناءات أظهرت تعقيدات المسألة .

وأثبت تيمان وف . سكوك من جهة أخرى سنة 1934 ، ان نفس الأوكسين ، الموجود في البرعم النهائي ، يتحكم بالإستطالة في الجذع تحت هذا البرعم ، كما يتسبب بتعطيل تطور البراعم الجانبية . وأشار ف . لياش وج . ماي (1933) إلى أن تطبيق الأوكسين على الأوراق يعطل نمو الخلايا في طبقة الترمم في البتلة ، وهي خلايا تتحكم بسقوط الأوراق . ان الأوكسين يعمل كذلك ، بحسب الظروف ، من أجل اسقاط أو منع سقوط الأثمار ؛ ولكن هنا أيضاً ، تبدو المسألة معقدة .

إن إحدى الخصائص الأساسية للأوكسين هي تأثيره في التكاثر الخلوي : تجذر الأنسال ، حضز الأغشية *mérismes* ، الخ .. منذ 1935 ، أثبت تجارب ر . سنو ، في انكسراته على الكامبيوم (القلب) .

(1) هذه اللفظة ، ابتكرها كوجل وهاجن - سميت ، تدل الآن على حامض اندول - أسيتك وعلى كل المجموعة الهورمونية القريبة . وبهذا المعنى سوف نتعمل فيما يلي .

إن الأوكسين يستحدث في البراعم القمية وفي الأوراق الجديدة ، فينتقل إلى أسفل ، ويتحكم في الربيع بعودة نشاط المريسيم القلبي . بين كوتيرت (1935-1939) انه ، في الزراعة اللامحدودة للأنسجة النباتية ، يبدو دائماً ضرورياً ، ولو بكميات ضئيلة (بين 10^{-4} و 10^{-9} غرام في اللتر) .

وتطبيق هذه التقنية في دراسة النسرطن ، قادت حديثاً إلى مفاهيم جديدة حول بيولوجيا crown-gall ، وهو ورم نباتي ملعون (آ . ك . برون ووايت ، 1943) تشبه بكتيريا ، وحل تفاعليات أورامية ، عموماً (غوتيرت 1946-1949) . ان الأنسجة السرطانية تتميز عن الأنسجة العادية بأنها اكتسبت القدرة على تركيب الأوكسين ؛ وقد أمكن الحصول على تسرطن فجائي للأنسجة العادية بفعل الزراعة الطويلة في أماكن تحتوي الأوكسين .

ومن جهة أخرى ان تقنية زراعة الأنسجة هي في أساس العديد من الانجازات في معرفة ظاهرة غريبة هي ظاهرة رجوع الشباب ؛ وإزالة التفاضل (ر . بوفات 1944) .

الاوليات الأوكسينية - أتاحت اعمال متنوعة اثبات ان حامضاً أمينياً ، هو تريبتوفان هو في أساس الأوكسين ، وان هذا الأخير ينشئ عن تريبتوفان بفضل الأكسدة الانزيمية . وان الجهاز والمقدمة الضرورية لهذا التحول موجودان في رأس غمد الشوفان . أما التنشيط بفعل الضوء فيتم بفضل صبغ يمكن أن يكون فلانوفروتين (آ . و . غالستون ور . س . باكر ، 1949) . ويدوان جهازاً انزيمياً أوكسيدازياً موجوداً في كل أقسام النبتة يقضي على الأوكسين الزائد . ولكن كيف يمكن تفسير المفاعيل المتنوعة جداً للأوكسين ؟

الواقع ان الاوليات الأساسية تبقى مجهولة ، ومن المحتمل ان المفاعيل المتعددة للأوكسين ليست الا مظاهر أو دلائل ثانوية ، ذات علاقة بطبيعة الأنسجة حيث تقع هذه الدلائل .

الدورية الضوئية ، وتسريع الأزهار - ان مبدأ الدورية الضوئية قد اكتشف سنة 1920 من قبل الاميركيين و . و . غارنر وه . آ . آلارد اللذين بينا في مذكرة شهيرة ان ردة فعل النباتات تجاه الدورية الضوئية ، أي تجاه المادة النسيية للنهارات والليالي ، تترجم بصورة رئيسية ، من خلال سلوكها المتعلق بالأزهار .

وبعد ذلك ، تم تصنيف النباتات ضمن ثلاث فئات كبرى : فئة « الايام القصيرة » (كيرياتيم ، توينامبور) ، فئة « الايام الطويلة » (الشمندر ، الجوسكيام) ، فئة غير الآبهة (البندورة ، الذرة) . بالنسبة إلى الفئتين الاوليين ، لا يحدث الأزهار ، الا بعد أو قبل مدة محددة من التثوير اليومي ؛ أما فئة اللامبالية ، فالضوء لا يتحكم ، بأي شكل كان بقدرتها على الأزهار . هذه الوقائع هي في أساس تقنيات الحث الضوئي الدوري ، وهي تقنيات تطبق بشكل واسع في الإنبات الزراعي horticulture . ودلت تجارب ك . ك . هامر وج . بوتر (1938) بأن حافز التزهير يتكون في الأوراق ؛ وهو ينتقل عبر النسخ المصنع إلى المراكز حيث تتكون الخصائص الازهارية . ويمكن نقله بالألقاح . ويسود الاعتقاد ان هورمونا ازهارياً (مولد الأزهار) ، أو مركباً هورمونياً ، يدخل مباشرة في الظاهرة . الا ان مستخرجات من النباتات في حالة الأزهار بقيت بدون أثر على

النبتة المزروعة . ولا نعلم أكثر عن علاقات الهرمون الممكنة بالأوكسين ، رغم ان دوره مقرر . وفي النباتات ذات الايام الطويلة ، يبدو الحافز أكثر تعقيداً . وسنداً لأعمال آ . لانغ وج . ملشر (1948-1943) تتولد عوامل كابحة للازهار عبر الليالي الطويلة ؛ ان المدة المحدودة بالايام يمكن أن تقصر اذا خفضنا درجة الحرارة (ان البرد يوقف الردع أو المنع) .

في بعض النباتات لا يحصل الازهار الا بعد تعرض البراعم أو الغرسات ، خلال مدة من الوقت (عدة أسابيع أو أشهر) لدرجة حرارة منخفضة (من صفر إلى 5 درجات مئوية) ، إنها عملية تسريع الازهار المستعملة في الزراعة ، منذ تجارب الزارع البيولوجي السوفياتي ت . د . لينسكو (1923) .

في نظرية هذا الباحث الطورية stadiale ، تتحكم درجة الحرارة (مرحلة الاحترار) والضوء (المرحلة الضوئية) في عملية التزهير . وقد ثبت ان حث حافز تسريع الازهار ، يمكن ، في بعض الحالات ، ان ينقل بواسطة التلقيح (ج . ملشر ، 1937) .

وبالاجمال ، تؤثر درجة الحرارة والضوء ، مع مؤثرات اخرى في بعض النباتات لاطلاق الاواليات المنظمة التي تجعلها مؤهلة للازهار ، ضمن ظروف ملائمة .

الواقع ، ان هذه المسائل معقدة للغاية اذا نظر اليها من خلال عدد كبير من الانواع ، ويستمرار في الزمن وفقاً للتقنيات التي استعملها ب . شوار ، منذ 1935 . الشيء المؤكد : ان الصاق الأوكسين بالاوراق لا يحث الحالة الازهارية ولكنه قد يعطل الازهار . فضلاً عن ذلك ، ان وجود تفاعلات تنموية تجاه الدورية الضوئية (شوار) يدل على وجود علاقات بين الاواليات الاوكسينية ، والازهار .

وقد حاولت نظريات عديدة أن توضح ظاهرات الحث على حالة الازهار ؛ وكثرتها تدل على بقاء مسافة يجب اجتيازها .

وأحد أواخر التطورات بهذا الشأن (هـ . آ . بورتويك 1952-1960) تناول التحليل عبر ضوء وحيد اللون لمعرفة الدورة الضوئية . وقد أدى إلى طرح وجود الصبغ النوعي phytochrome الذي يرتدي شكلين : أحدهما يمتص في الاحمر حوالي $60 \text{ m} \mu$ والآخر يمتص $730 \text{ m} \mu$ ، وأثاره تتعكس فيما يخص تأهيل الاواليات الزهرية . وأيضاً تمت الامتعاة بمفهوم التفاعل الضوئي الارتدادي لابرار بعض الظاهرات التنموية المقترنة بالتحول (النمو في معزل عن الضوء) أو المقترنة بالبرعمة .

تطور الثمرة - اللقاح الذاتي parthénocarpié - بشكل عام لا بد من التلقيح لتطور الزهرة والثمرة . في سنة 1936 ، نجح ف . ج . غوستافسن نجاحاً كبيراً حين وضع الأوكسين على مبيضات غير ملقحة ، في افعال تطور الثمرة حتى النضج ؛ وهكذا تم الحصول على اثمار بدون بذور سميت الملقحة تلقيحاً ذاتياً (البندورة ، العنب ، التين) .

إن الأوكسين يحمل عادة إلى الكأس بواسطة اللقاح الذكري ، ويظن ان التلقيح يجب أن

يحفز إنتاج الأوكسين بواسطة المبيض (موير، 1942) . وقد أكدت تجارب ج . ب . نيتش Nitsch سنة 1950 الوظيفة الأوكسينية للزور في تطور الثمرة ، ثمرة القريز . في بزر الشوفان يتم تركيب الأوكسين ، في بادئ الأمر داخل الألبومين ، ثم في الجنين (ل . ك . لوكويل ، 1953) . ولا نعرف شيئاً حول النظام الانزيمي ، الذي ينطلق منه الأوكسين الذي لا يشكل إلا أحد العوامل في التطور (سنداً لما كشفته تجارب زراعة المبيضات المستأصلة) .

إن نضج الثمار هو مرحلة أخرى ، غير معروفة كثيراً . والحدث الأبرز حول هذه النقطة كان اكتشاف أثر الأثيلين (ف . أ . ديني ، 1922) المستعمل الآن في الانضاج الاصطناعي بشكل شائع .

أوكسينات جديدة تركيبية وهورمونات - إن البحث عن الأجسام التركيبية القوية كيميائياً من حامض اندول أستيك ، قد جرّ إلى دراسة عامة للعلاقات بين اليشات الكيميائية والخصائص الفيزيولوجية وكان من الواجب من أجل هذه الغاية وضع منهج رياضي ، يتناول بدقة الأثر الأوكسيني المباشر .

وقد استخلصت بعض القواعد ، واستعملت كمرشد في انتقاء آلاف الأجسام التي تجب ربايتها ولكن أبداً من النظريات المقامة للتوضيح لم تصمد أمام الوقائع : وعلى هذا - ومن بين أخريات - تبين أن الحاجة إلى نواة دورية ، حاجة كانت تبدوراسخة ، قد أعيد النظر فيها حديثاً . إلا أن العديد من الأجسام قد أخذت . فالكثير منها ، المكتشف منذ زمن بعيد ، له كل خصائص حامض اندول - أستيك (حامض اندول - بوتيريك والفا - نفتالين - أستيك) . وهناك حوامض أخرى (مثل أسيد تري - يودو - ينزويك) ذات تصرف فريد ، وحدها تظهر غير فاعلة . فإذا أضيفت إلى الأوكسين ، ضخمت مفعوله أو عطلته بحسب المعيار . هذه البحوث كان لها تطبيقات حاسمة على توجه التربية الزراعية وعلى الزراعة . وهكذا ولدت صناعة مبيدات الأعشاب المتتفة ، والمعروفة بشكل خاص تحت نوع مجموعة D - 2,4 (حامض 2,4 ديكلورو فينوكسي - أستيك) . ومبدأها بسيط : في تركيز معين يعمل D - 2,4 كما يعمل حامض اندول - أستيك . وفي تركيز أقوى يصبح ساماً بالنسبة إلى غالبية النباتات باستثناء القطنيات والنباتات القوية منها . ومن هنا استعماله في زراعة الحبوب وقصب السكر . وبالنسبة إلى كل زراعة تبذل جهود لمعرفة الدواء المتفق .

وهناك نتيجة أخرى ، أكثر بروزاً ، اكتشفت وهي السيطرة الكيميائية على التزهير في نبتة الأناناس (ج . فان أوفريك 1944-1946) .

فإذا مضى ستة أو ثمانية أسابيع على المعالجة بحامض الفا - نفتالين - أستيك ، تزهو النبتة وتفتح . وترتكز الزراعة الصناعية الحالية للأناناس على هذه التقنية المقرونة بتقنية المبيدات العشبية الانتقائية ، وعلى وسائل أخرى بالغة الكمال . وقد طبقت برامج بحوث منهجية متعلقة بالبحث وبالتعطيل الكيميائي للإزهار ، وهي برامج مرتبطة جزئياً بالنتائج العملية المتوقعة .

إن البحث الكهربائي للإزهار قد حصل هو أيضاً في عدد من النباتات ذات الأيام الطويلة ،

خارج القواعد الضوئية الدورية ، وذلك بمعالجة أحد الجبيرلين وهو حامض جيسريك ، وهذه المادة مستخرجة من فطر في الأرض ، وتركب اليوم نقية ، بعد بحوث صعبة قام بها أ . كوروساوا 1926 ، والعالمان اليابانيان ت . يابوتاوت . هاياشي (1939) ، ومجموعات من الكيميائيين الاحيائيين اليابانيين والانكليز والأميركان (1953-1955) .

يوجد ، ولا شك ، علاقة بين الجبيرلين ومولد الزهر ، ولكن المسألة معقدة تماماً ولم تتوضح . والغريب في الأمر ان الجبيرلين لا يؤثر في نباتات الايام القصيرة في حين أن اثر مولد الازهار هو ذاته على ما يبدو ، في الفستين من النباتات (تجارب التطعيم) .

وعداً عن أنواع الجبيرلين التي عُرف وجودها في النباتات العليا ، لفتت الانتباه مواد أخرى عديدة ، في السنوات الاخيرة . فالكينتين ، وهو مشتق من الأدينين ، يستخرج من ADN ومن مني سمك الرنكة (مكوغ ، 1956) ، وهو يحرض الانقسام الخلوي في التبغ كما يحرض الأورام . اكتشف ج . فان أوفريك وآ . ف . بلاكسلي (1941) ان حليب جوز الهند يحرض نمو بعض الأجنة . وقد نجح علماء الكيمياء الإحيائية في جامعة كورنل ، الذين ياشروا تحليل هذه المادة ، في التصرف على أربعة أجسام ذات مفعول أوكسيني ، ومنها الديفينيل - أوربي (ف . ك . ستوارد ، أ . م . شتر 1956) ؛ وقد شكل ذلك باباً مهماً في البحث حول مشتقات البولة .

وذكر هذه الوقائع يدل على أن علم الهرمونات هو في أوجه ، ويمكن توقع تقدم سريع في تحليل الآليات التي تعمل في النمو وفي التطور ، وكل تقدم في معرفة هذه الوقائع قد يكون له نتائج ذات أهمية نظرية وعملية قصوى . وقد بدى في اكتشاف الروابط بين التنفس والنمو . وجرت محاولة من أجل صياغة نظرية عامة حول المفعول الأوكسيني (فرضيات فلديسترا ، وموير وج . بونر الخ . . .) وحقل التطبيقات الاقتصادية يتسع كل يوم . ان مسألة الأورام الخبيثة يمكن أن تعالج أيضاً على هذه الجهة ؛ وإذا كان الأمر كما يعتقد ستوارد ، بأن النمو هو توازن بين المحرضات والكوابح ، فاننا نرى كيف ان بعض الاضطرابات يمكن أن تؤدي إلى النمو ، وإلى التضخم التشوهي .

II - نظرية التنفس

في أواخر القرن التاسع عشر ، برز بوضوح معنى البحوث التي سوف تؤدي إلى المفهوم المعاصر ومنذ سنة 1925 إرتمت ثلاث نظريات باعتبارها الأطر والمبادئ الأساسية في هذه البحوث . فقد فهم التنفس الخلوي ، وفي طبيعته العميقة ، عند مستوى المسألة العامة المتعلقة بالأكسدة البيولوجية (نظريات روبرغ ، وويلاند) ، وفي روابطه بالخمائر . إنما يتقص هذه المعارف مفهوم أساسي وضعته البحوث الجديدة موضع اللاباث وجعلت منه واحداً من اهتماماتها الرئيسية ، الاهتمام بالدور الطاقوي الذي يلعبه التفسفر . فضلاً عن ذلك ان نظرية المجمل قد توسعت كثيراً : وقد جرى التركيز على التنفس كعملية منتجة للمواد الأساسية في التركيبات الاحيائية الكبرى .

الأكسدة البيولوجية - التنفس ليس الحرق أو الاشتعال . وقد أدرك كلودبرنارذاك تماماً عندما تكلم عن معادل الاشتعال . وبالفعل ، وبالتأكيد ، تجري العملية بدرجة حرارة قليلة

الارتفاع وبمساعدة ضرورية من المادة الحية . ان التعبير الاجمالي الكلاسيكي :
 $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$ الذي يوضح الحدود الاساسية والنهائية للعملية ، لا يكشف شيئاً
حول طبيعة المراحل الوسيطة وحول الاواليات .

وبسرعة فائقة ، تم اكتساب مفهومين : لا توجد اكسدة مباشرة للجوهر بواسطة اوكسيجين
الهواء ، بل تجزؤ للخلايا العضوية بواسطة سلسلة من التفاعلات الميسرة بواسطة انزيمات (آ .
ن . باش 1897) . ولكن كيف تتم عمليات الاكسدة ؟

هذه المسألة الغامضة لمدة طويلة قد فهمت أخيراً على اثر سلسلتين من الاعمال الجلية
التي قام بها هـ . ويلاند-ت . تنبرغ (1912-1920) من جهة ، وأ . وريبورغ-د . كيلن (1921-1949)
من جهة أخرى . ومنذ 1926 ، تطلع هـ . دونكر وأ . ج . كلويجفر إلى تركيبة ممكنة بين النظريات
المتعارضة ظاهرياً الصادرة عن هؤلاء العلماء ؛ وقد تحققت هذه التركيبة عملياً قبل سنة 1940
بقليل .

وريبورغ وتنشيط الاوكسيجين - كان اوتو وريبورغ عالماً ألمانيا ذا عبقرية خصبية وقوية ونال
جائزة نوبل سنة 1931 ؛ فقد فتحت أعماله حول الايض الخلوي أبواباً كثيرة ؛ ونحن مدينون له
بشكل خاص انه انجز ، على اثر ج . باركروفت وج . ب . س . هالدان (1902) طريقة كلاسيكية
لدراسة « مانومترية » للتبادلات الغازية ، قدمت خدمات كبيرة جداً . انه هو ، بشكل خاص ،
الذي وضع الدور الاساسي للمعادن الثقيلة كميصرات بيولوجية ، كما بين السمة المضللة لنظرية
الانزيمات المعتمدة كمواد عضوية خالصة . لقد اثبت وريبورغ بأن الاوكسيجين الخلوي لا يمكن ان
تستعمله الخلايا الا بعد التنشيط (تحول إلى اوكسيجين ذري) بواسطة انزيم تنفسي وان هذا
الانزيم يجب أن يكون بروتيئاً متصلاً بالحديد ، بروتيئاً دموياً .

الواقع أن المسائل التي حلها عمل وريبورغ كانت مطروحة منذ قرن . منذ 1820 ، حصل أ .
دالي ، بواسطة مساعدة (كاتاليز) اسود البلاتين ، على اكسدة بدون هواء للاثانول وتحويله إلى
حامض آستيكي ؛ وقرب برزيلوس هذه الاكسدة - بحرارة متدنية - من التخمر الاستيكي بواسطة
بكتيريا : « انزيم غير عضوي » في حالة ، « انزيم عضوي » في حالة أخرى .

إن إحدى النجاحات الكبرى التي احرزها وريبورغ انه اخترع ، بعد دالي ، نظاماً جديداً
اصطناعياً للتنفس ، « نموذجاً تنفسياً » محسناً ، يتيح تعميق معرفة الدور المساعد الذي تلعبه
المعادن الثقيلة ، دور الحديد خاصة ، الذي كشفته له تجاربه حول تنفس بيضات التوتيا .

واعتقد إن الحديد ، كمعادن ثقيل كالبلاتين ، يمكنه ، كهذا الاخير ، أن يكون موضوع تغير
في القدرة (Valence) وان يكون ، بحكم وجوده المفيد الحاسم في الخلية الحية ، العامل الحاسم
المولد للانزيم . وبين هذه الفرضية بتجارب بقيت شهيرة ، وتوصل إلى اكتشاف رئيسي ، اكتشاف
الانزيم التنفسي⁽¹⁾ .

(1) ان تاريخ علم الانزيمات تناوله ر . كهل (الفقرة I ، الفصل I من هذا القسم) .

من المعروف منذ زمن بعيد ، ان اوكسيد الكربون في الظلام ، ينقل الاوكسيجين من الهيموغلوبين من الدم ، وان هذا التفاعل يرتد في الضوء . الواقع ان تنفس الخمائر وتنفس بعض البكتيريا الذي يتعطل بفعل الاوكسيد كربون في الظلام ، والذي ينشط في الضوء ، يقدم احتمالاً قوياً لصالح الطبيعة الدموية في القسم النشط من الانزيم . وبواسطة منهج اتيق مرتكز على الدراسة المقارنة للاطياف البصرية والكيميائية الضوئية ، بين وربورغ مصداقية هذا التصور .

في « النماذج التنفسية » التي وضعها وربورغ (حيث المساعد هو مركب آزوت - حديد ، مشق همني) ، كما في الخلية الحية ، انه الحديد في الحالة الحديدية الذي يسهل عملية الاكسدة ؛ هنا تأكسد ذاتي ، أي اكسدة عفوية بوجود اوكسيجين الهواء : ان الحديد المؤكسد يصبح ثلاثي القدرة (حديدياً ferrique) ويقدم الكتروناتاً للاوكسيجين (تقوم الاكسدة هنا ، لا على طرد الهيدروجين بل بخسارة الكترون) .

كيلين واكتشاف الملونات النووية - تلقت اطروحة وربورغ دعماً حاسماً من قبل الانكليزي د . كيلين الذي اعاد سنة 1925 اكتشاف الملونات النووية (cytochromes) ، وهي اصباغ مكتشفة في عضلات الحشرات منذ 1886 من قبل مك مون ؛ في سنة 1939 ، اثبت كيلين وأ . ف . هارترتي ان الملون النووي a يمتلك كل خصائص الخميرة التنفسية التي اكتشفها وربورغ وسميها « ملون نووي - اوكسيداز » (cytochrome-oxydase) .

عرف كيلين في أعماله الاولى وحدد ثلاثة ملونات نووية (a, b, c) ، واعطاها دور الوسيط في تفاعليات التنفس . هذه الاصباغ « المشتركة بين الحيوانات ، والخمائر والنباتات العليا » هي بروتينات دموية ، مثل الهيموغلوبين : ان ذرة الحديد مدموجة ضمن معقد بنيوي (نواة تترايبروليك) مرتبطة بالبروتين . ان الملونات النووية c (المعزولة والمدروسة سنة 1937-1939 ، من قبل هـ . تيوريل) و b و a ، موزعة في كل الخلايا الحية غير المهواة ، حيث تؤمن نقل الالكترونات والبروتونات . ان الملون النووي b ، المنتشر في معظم الانسجة النباتية ، ما يزال غير معروف تماماً .

هكذا يتم تصور التفاعلية : ان الملون النووي c الحديدي يؤكسد فلافوبروتين متقلصاً ويصبح حديدياً بربح الكترون واحد ، ويتحرر $2H^+$ ويتأين $H^+ + e \rightleftharpoons H$ ؛ ويحكم عدم تأكسدة ذاتياً ، يعود الملون النووي c فيتأكسد بواسطة الملون a ، الذي بدوره غير ذاتي الاكسدة ، وبواسطة الملون النووي - اوكسيداز . وأخيراً يعود الانزيم الذاتي الاكسدة إلى حالة الحديدية ، « السيتوكروم - اوكسيداز » ، فيتأكسد ذاتياً ، مباشرة بواسطة الاوكسيجين الجزيئي ، الذي يتلقى الكترونين ، وفقاً لرسمة وربورغ $2Fe^{+++} + O_2 \rightarrow 2Fe^{++} + O^{--}$ فينشط ؛ وينتج الماء $(2H^+ + O^{--} \rightarrow H_2O)$.

ان بعض الخمائر غير البروتينات الدموية تمتلك خاصية تنشيط الاوكسيجين ، وخصوصاً مؤكسدة (oxydase) حامض أسكرونيك (زنت - جيورجي ، 1931) ، والغلوكوز - اوكسيداز (د . مولر ، 1925) و « كاتيشولوكسيداز » (مس وهلدال ، 1910) . بين لونديفارد (1955) ان الملون

النوي b يمكنه أيضاً أن يلعب دور المؤكسدة (او كسيداز) .

وفي الطرف الآخر من التفاعلية ، توضحت المراحل الاساسية للتقهر بفضل أعمال ويلاند ومدرسته .

الاكسيدات بنزع الهيدروجين . مساعدات نزع الهيدروجين - اكتشف هنريش ويلاند ، منذ 1912 ، ان أكسدة بنزلهيد وتحواله الى حامض بانزويك يمكن أن يحصل بغياض مطلق للأوكسجين الجزيئي ، انما مع وجود ماء . ويسهل التفاعل بواسطة البلاتين الغرائي الذي يثبت الشريتين من الهيدروجين المتشععتين من جزيء بنزلهيد المميه . وفيما بعد ، تعممت نظرية الاكسدة عن طريق نزع الهيدروجين وتوسعت فشملت الاجسام الحيوانية والنباتية (عضلات ، بكتيريا ، وخمائر نباتات عليا) . انه نزع للهيدروجين يتدخل في أكسدة الكحول الانليية وتحويلها إلى حامض آستيك بواسطة بكتيريا (ويلاند 1913) . منذ اكتشاف تونبرغ (1917) نازع للهيدروجين خاص (قابله الطبيعي هو الملون النوي b) ، استعمل ازرق الميتلين كقابل اصطناعي للهيدروجين مع معرفة أكثر من أربعين نازع للهيدروجين . وهي تتزاوج مع قابلات للهيدروجين (بعدد صغير) : DPN ، فلافوبروتينات ، أو ، في بعض الحالات ، ملون نوي أو TPN ؛ ان نازع الهيدروجين هو الذي يعطي للتفاعل خصوصيته .

ويمكن اليوم تصور مبدأ الاكسدة التنفسية : نازع للهيدروجين خصوصي يحمل عنصرين من H^+ متزعين من الأصل ، ويتخذ شكلاً مختصراً . هذا النازع تعادل، أكسدته بواسطة فلافوبروتين يتضاهل هو بدوره . وتولد أوالية معقدة تسمى أوالية تحول الالكترونات (نازع الهيدروجين ← الفلافوبروتين ← الملون النوي ← الملون النوي - المؤكسد) سلسلة من الوصلات بالنسبة إلى البروتينات وإلى الالكترونات اثناء عملية نزع الهيدروجين في المرحلة اللاهوائية من التنفس ، تابعا يؤدي أخيراً إلى احتراق الهيدروجين ، في حين يتأمن سيل الالكترونات بفعل ان قوى تضليل الاكسدة تزداد ارتفاعاً وصولاً إلى الاوكسيجين . ان هذه الانظمة التحويلية ، أو السلاسل التنفسية تحرر كمية كبيرة جداً من الطاقة ، وتتحكم الخلايا باواليات خاصة من اجل الاحتفاظ بها كاحتياط . ان هذه المسألة الاساسية سوف تعالج في مكان آخر .

أعطت نظرية ويلاند التي طورها تونبرغ (1916-1920) توسعاً ضخماً لمفهوم التنفس . في التنفس ، يلعب اوكسيجين الهواء المستنشق ، بعد التنشيط ، دور القابل النهائي للهيدروجين لاعطاء الماء ، هذا الهيدروجين كان يتنزع من الخلايا العضوية . نعرف الآن ان ال CO_2 المتصاعد ينتج عن عمليات نزع الكربوكسيل (ان CO_2 هو مجموعة كاربوكزلية) ، ومن جراء هذا ، فهو ينبثق عن التفكك وعن تحولات الخلايا العضوية . ولكن المعنى الاساسي للتنفس يكمن في أواليات استنفار الطاقة القابلة للاستعمال ، « عملة صغيرة » طاغوية ، حسب قول زنت - جيورجي ، وهو يدخل أيضاً في انتاج هذه المركبات الكربونية المتنوعة جداً (من واحد إلى بعض ذرات C) ، ركيزة و « عملة صغيرة » في عمليات التركيب الاحيائية الكبرى .

التخمير الكحولي - يفترض على سبيل الطرح المحتمل جداً ان التخمير الكحولي والتنفس

اللاهوائي يمكن ان يتمثلا ، وان التنفس الطبيعي في النباتات يتم بخلال مرحلتين متاليتين عادة ، الاولى لا هوائية والثانية هوائية (نظرية فيفر - بالادين - كوستيتشيف 1888-1920) . وهكذا يتم التخمر الكحولي والتنفس متماثلين في بادئ الامر ، ثم يفرقان بحسب تدخل الاوكسجين او عدم تدخله ، ويتج عن الحالة الاولى ماء و CO_2 ، وكحول و CO_2 في الحالة الاخرى . وعند وجود تركيزات ضعيفة من الاوكسجين قد تظهر التفاعليتان معاً .

وفي الحالة الابسط حيث يكون الاصل هو الغلوكوز $(C_6H_{12}O_6)$ وليس الغلوسيد الاكثر تعقيداً أو ليبيداً (دهناً) أو بروتيداً ، لا بد من ما لا يقل عن 13 مرحلة كبرى حتى تكمل التفاعلية العامة المعروفة باسم رسيمة ابدن - مايرهوف - پارناس أو E. M. P.

إنه بالدرجة الاولى ، الغليكوليز بمعناه الواسع (ابتداء من الغلوكوز وصولاً إلى حامض بيروفيك) المتميز ، بشكل خاص ، بتفاعلات فسفرة ؛ فيتم الانتقال من مراتب غلوكوز - 6 .. فوسفات أو استر روبيرون ، فروكتوز - 6 - فوسفات ، أو استر نوبغ وفروكتوز - 1,6 - ديفوسفات أو استر هاردن ويونغ [تجميعات] على الكربونين 1 و 6) ، ثم يقع الانفصال (الغلوكوليز بالمعنى الضيق) في السلسلة الغلوسيدية إلى 2 تريوفوسفات (سكريات $P-C_3$) : أول تكسير أو تشطر للجزء الأساسي (آ . ي . فيرتانن ، 1924 ، الخ) .

وترتدي التفاعلات التالية أهمية كبرى ، اذ عند هذا المستوى الدقيق يدخل الفوسفات المعدني الضروري لصنع حامض ديفوسفو - غليسريك (جسم من C_3) ؛ وبكلام آخر ، يحصل قلب للفوسفات المعدنية إلى فوسفات عضوية (ربروغ وكريستيان ؛ نيجيلين وبرومل ، 1939) . ولكن الفوسفور يلعب دوراً أورياً في كل الايض الخلوي ، خاصة بشكل استرات « أوز oses » في حامض اورتو - فوسفوريك (PO_4H_3) . في الحالة الحاضرة ، تحرر أكسدة التريوز - فوسفات بواسطة مُساعد على نزع الهيدروجين (DPN) طاقة « تؤسر » في معظمها بواسطة الفسفرة ، والعملية التالية تقوم على نقل - ضمن أفضل شروط - الطاقة المحبوسة في جسم ما ، إلى حيث تكس من أجل استخدام لاحق ، هذا الجسم هو أدنوزين ديفوسفات أو ADP الذي يتحول إلى ATP أو أدنوزين تريوفوسفات (أسيد أدنيل - تري - فوسفوريك الذي عزل في انسجة النباتات ، سنة 1950 من قبل هـ . ك . ألبوم ، الخ) (ك . لوهمان ومايرهوف ، 1928-1935) . ان اسيد أدنيليك أو أدنوزين مونو - فوسفات أو AMP و ADP و ATP هي مثل CoA ومثل الكوانزيمين I و II ، استرات فوسفورية من ادنوزين ، والأدنوزين هو « ريبوز » (مرتبط بركيزة آزوتية من مجموعة البورين ، الأدنين) ؛ وهي تتميز بعدد الجزئيات الفوسفورية المحددة . ودلت أعمال ف . ليمان (1941) على أهمية المركبات الفوسفورية ، كمثبات أو حاملات الطاقة المتاحة ؛ ويعود إلى هذا العالم فضل التمييز الذي أصبح كلاسيكياً ، بين ارتباطات غنية وارتباطات فقيرة بالطاقة . في الفوسفات العضوية مثل الهكزوفوسفات و AMP ، حيث ترتبط مجموعة الفوسفات بالوظيفة الكحولية ، يكون الاتصال من نمط فقير (2-4000 cal) ؛ ويكون غنياً بين مجموعتي فوسفات ، كما في ADP و ATP (10 - 14000 cal) . وكان هاردن ويونغ (1905) أول من أثبت مشاركة الفوسفات المعدنية في مفعول الزيماز المستخرج من الخمائر ، وكشفاً على الهكزوز

فوسفات الأولى . وتماشياً مع هذه البحوث ، قام آمبدن (1915) ومايرهوف بأولى أرصادهم حول الانسجة الحيوانية .

وبعد النقل الانزيمي لفوسفات إلى ADP ، يتشكل أسيد 3- فوسفو غليسريك ؛ ويحدث تجاوزاً فيتكون أسيد 2- فوسفو- غليسريك . ويتم عملية غليكوليز بنزع الماء (أسيد- فوسفو- انول بيروفيك) مع عملية نزع فوسفور أخيرة : ويتكون أسيد بيروفيك $\text{CH}_3 \text{CO COOH}$.

بعد التزويد بالغلوكوز (غليكوليز) يحصل نزع للكربون (ديكاربوكزilasيون) (بفضل كوكاربوكزilasاز) من أسيدبيروفيك ، وتحرير للـ CO_2 وحدوث لـ أسيتالدييد $(\text{CH}_3 \text{CHO})$ (وسيط اكتشفه ك . نيوبيرغ ، 1911 ، بواسطة تجميد السلسلة الانزيمية) ثم ، بتخفيض هذا الجسم الأخير ، يحصل كحول ايثلية $(\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{OH})$. انطلاقاً من جسم من C_6 توصلنا إلى أجسام من C_2 و C_1 .

في التخمر الكحولي ، كل أكسدة مستكملة لجزيء من الغلوكوز تنتج إعادة شحن جزئيين من ADP ، انطلاقاً من أسيد اورتوفر فوسفوريك معدني ثم تحويلهما إلى ATP : ويتم الحصول على اتصالين ، وتختزن طاقة متاحة (من عيار 25000 cal) .

هذه الرسيمة رغم اختصارها ، لأنها تتجاهل كل اعتبار حول الأوليات والحركية ، والانزيمات ، فإنها تدل على تعقيد الظاهرات . وكان لا بد من نصف قرن من الجهود المتتابعة من قبل العديد من مجموعات العلماء ، من أجل التوصل إلى الحالة الراهنة من المعارف المتوفرة لنا . ان التيقن من النتائج الحاصلة هو بحيث ان غالبية التفاعلات قد اجريت في المختبر باستعمال مقتطفات خلوية وانزيمات مصفاة .

على أثر ملاحظات ليمان (1936) ووربورغ ، دلت أعمال حديثة (أ . راكر 1948-1954 ؛ د . ت مكن . سكوت وس . كوهن ، ب . ل . هوريكر ، الخ 1951) ، بان غلوكوز-6- فوسفات يمكن ارجاعه إلى تريوز فوسفات وفقاً لعملية مختلفة عن هذه الرسيمة E.M.P : وهذه هي « نقلة » الباحثين الانغلوسكسون أو « نقلة بانتوز- فوسفات » أو دورة هوريكر ؛ سكر من C_7 ، سيدو هبتولوز-7- فوسفات هو أحد الوسطاء .

هناك سبل أخرى ممكنة أيضاً (ن . انتروم . دودوروف ، 1952) . ان دورة هوريكر ، تتدخل بشكل خاص في أوليات تمثل الكربون (تجدد دورة كالفن) .

المرحلة الهوائية في التنفس : دورة كريس - يظهر ان تنفس النباتات العليا يعود بشكل عام إلى النظرية التي وضعها العالم الكيميائي الاحيائي الكبير الانكليزي كريس من أجل المملكة الحيوانية والمعروفة باسم دورة كريس ، أو دورة حامض السيتريك (كريس وو . آ . جونسون 1937) .

ارتكزت أعمال كريس أساساً ، ووفقاً لطريقة نيوبيرغ (1911) ، على المعطلات الخصوصية من حامض مالونيك الذي يعطل المساعدة الانزيمية عند نقطة من الدورة ، وبالتالي فهو يكبح

التنفس . وبعد ذلك ، اكدت تجارب ارتكزت على تقنية النظائر بأن ذرات الكربون في حامض بيروفيك تندمج فعلاً في حوامض الدورة . وتم التعرف على العديد من الحوامض الوسيطة ، في النباتات ، حيث يتراكم البعض بكميات مهمة (حوامض ماليك ، ميتريك ، اوكزاليك) ؛ من المعروف منذ عدة سنوات ان حامض بيروفيك ، يشكل بصورة انتقالية ، في الخمائر وفي النباتات العليا (ج . م . و . و . جامس 1940) . وقد قدم البرهان الآن بأن دورة كريس تعمل في النباتات (آ . ميلرد 1951 Millerd ؛ د . و . بروموند Brumond ور . ه . بسوريس 1953 ، السخ) . وكذلك توضح عدد كبير من الانظمة الانزيمية المشتركة (اكونيتاز ؛ ديهيدروجيناز ايزوسيتريك ، سوكسينيك ، ماليك ؛ فوماراز ؛ اوكسيداز امثال كاتيشولوكزيداز ، اسكوربيكوكسيداز ، غلوكوز-اوكسيداز) .

وبنذال اليوم علماء الفيزيولوجيا العرقية جهداً كبيراً انطلاقاً من المنظور الدقيق ، منظور دورة كريس . الا ان هذه البحوث لا تتم ضمن الاجماع ، اذ ان الاهمية الصحيحة للدور الذي لعبته هذه الدورة ما يزال مجهولاً . بدون شك الطريق الرئيسي للتنفس الهوائي - عند النباتات ؛ ان أواليات التنفس ذاتها ، في علاقاتها بالاحتفاظ بالطاقة الحرة ، تبقى مجهولة ، على الاقل لهجة طبيعتها العميقة . لا شك ان الامر يتعلق بصورة رئيسية بمزدوج هونزغ الاوكسجين وقيام الفسفرة ، ولكن هنا يكمن فصل جديد تماماً من فصول العلم المعاصر .

الفسفرات التأكسدية - تطلق هذه العبارة على تراوج الفسفرات مع تفاعلات تأكسدية (اعادة اكسدة $DPNH_2$ ، و $TPNH_2$ الخ . بواسطة O_2) . واذا كان لا بد من وجود 40 أو 50 تفاعلاً للتوصل الى الحد الاقصى من العملية التنفسية ، فانه في المرحلة الهوائية تنتج تقريباً كل الطاقة الحرة ، أي ما يعادل 700000 حريرة يضيع قسم منها بشكل حرارة ، ويُخزن قسم منها ليستخدم في النمو ، وفي التراكيب ، وفي الاعمال الامتصاصية ، الخ ؛ تأخذ هذه المرحلة عشر ذرات من الاوكسجين من أصل اثنتي عشرة ضرورية لأكسدة جزيء من الغلوكوز (وتستخدم الذرتان الاخريان في أكسدة $2 PNH_2$ ، تتأنيان عن الغليكوليز) . ويمكن الظن ضمن هذه الشروط ان أنظمة تراكم وتحويل الطاقة المستعملين من قبل الخلية ، يجب أن تعمل بصورة رئيسية في المرحلة الهوائية .

ونعود الاكتشافات الحاسمة حول هذه المسألة إلى أعمال ه . م . كالكار (1930) ، وأعمال ف . آ . بليتزر وأ . ت . تسيباكو (1937-1939) Tsibakowa وأعمال م . اوشوا (1941) : هناك تزاوجات تحصل بين عمليات الفسفرة وأنظمة نقل الكترولونات السلاسل التنفسية .

لقد أوضحت أعمال وريورغ ونيجيلين (1932) مبدأ الفسفرة عند مستوى الجوهر ، وبينت ان هذه تتم مع عدم وجود الهواء (حالة تركيب ATP ، متزاجاً مع اكسدة ادلهيد فوسفو- غليسريك بواسطة DPN في الغلوكوليز) .

إن عمليات الفسفرة التأكسدية تقع بين الاساس وبين الاوكسجين ، في السلسلة التنفسية (خاصة $DPN \leftarrow$ فلافو بروتين \leftarrow الصمغ النووي $\leftarrow c \leftarrow a_1 \leftarrow O_2$) ؛ واذن فهي هوائية . عند

مستوى ما من الدورة (حامض الفا (3) - ستوغلوتاريك) ، قد يمكن أن تكون أربع عمليات فسفرة ، بخلال انتقال زوج فقط من الالكترونات (أ . ك . سلاتر 1957) ، ولكنها تكون خارجاً أقل عدداً (2 - 3) . ونجهل كل شيء عن الاولية ، ولكن نقدر ان عشرين إلى اربعين جزيئاً تنفسياً من ATP يمكن ان تكون احتياطياً مؤلفاً من قسم كبير من الطاقة المحدثة في السلاسل التنفسية (حتى حدود 400 000 حريرة بالنسبة إلى جزيئين من حامض پروفيك) بقلب الفوسفات المعدني ، أي انتاجاً من عيار 60 % .

وقد أمكن حديثاً موضعة عمليات الاكسدة الهوائية وخاصة اكسدات $DPNH$ التي تؤدي إلى تركيب ATP في الميتوكوندريات الحيوانية (آ . ل . لهنجر ، 1951) ، وكذلك عند النباتات العليا (آ . ميلرد ، ج . بونر ، الخ . 1951 ؛ ج . ج . لاتيس ، 1953) . وقد حصل البرهان ، أنّ الصيغ النووي - اوكسيداز لا يتواجد الا في الميتوكوندري . في هذه الجسيمات الخلوية الصغيرة جداً ، يوجد مركز التنفس الهوائي .

III - نظرية التركيب الضوئي

ان نظرية التركيب الضوئي مدينة - ربما أكثر من نظرية التنفس - للتقنيات الكبرى المعاصرة : التعداد العلمي بالنظائر ، والتصوير الملون للتقاسم على الورق . وبرز هذه التقنيات بشر بمنعطف أساسي في حدود السنوات 1937-1941 . ان هذه النظرية ، مدينة إلى حد بعيد للمعارف المكتسبة حول التنفس . فمنذ مطلع القرن ، تم انجاز عمل ضخم ، تدعمه سلسلة من الاعمال بقيت جملة منها كلاسيكية ، ثم أيضاً العبقريّة الصبورة أو الباهرة لامثال ويلستاتر أو وريورغ . لقد طرحت المسائل ، وتم استخراج تيارات الفكر .

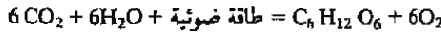
إن العصر الجديد ، الذي أعلنت عنه الأعمال المدهشة التي قدمها فان نيل في البيوكيميائية المقارنة (1931-1935) ، قد صاغ أدواته . ان تجارب البيوكيميائي الانكليزي ر . هيل (1937) وتجارب هيل ور . سكلارسبريك (1940) اثبتت تصاعد الاوكسيجين تحت تأثير الضوء فوق ذُوب من الكلوروبلاست معزولة أو مجزأة ، بحضور قابل للهيدروجين . إنّ هذه النتائج ، التي رسمت سابقاً في الاعمال القديمة (بيجرنك ؛ وه . فريدل ، 1901 ؛ ه . موليش ، 1925) ، تفتح احد الفروع الأكثر نشاطاً والأكثر تعقيداً في البحوث المعاصرة ؛ وقد أدت إلى الاكتشافات الكبرى التي حققتها مدارس س . اوشاود . ي . ارنون . وبين 1939 و 1941 ، وبعد تطبيق تقنية العناصر الموسومة (^{14}C , ^{18}O) توصل الاميركي س . رُوبن وفريقه (و . ز . هاسيد ، م . د . كامن ، م . راندال ، ج . ل . هايد) إلى انجازات حاسمة في المعرفة .

وفي سنة 1941 أيضاً ، اكتشف آ . ج . پ . مارتن ور . ل . م . سينج التصوير الملون على الورق وبيناً فعالتيه التي لا مثيل لها ، في فصل الحوامض الامينية . ان هذه الطريقة المقرونة باستعمال ^{14}C سوف تتيح اكتشاف مستحضرات بسيطة في عملية الايض وتحديد نتائج ظهورها .

ولأول مرة سوف توضع نظرية مرضية حقاً حول تمثيل الكربون لدى النباتات ذات التركيب الضوئي⁽¹⁾.

1 - من سنة 1900 إلى سنوات 1937-1941

مرحلتا تفاعلية التركيب الضوئي - في مطلع القرن اعتقد التركيب الضوئي كظاهرة فريدة ، خاصة بالخلايا الكلوروفيلية : تمثل CO_2 بواسطة الكلوروفيل ، بمساعدة الطاقة الضوئية وفقاً للمعادلة :



يظهر الغاز كربونيك في الخلية ، ذاتياً ، بشكل حامض كربونيك H_2CO_3 ؛ ويمكن أن يحدث فيها انتاج الحديد فورميك ، وفقاً للفرضية القديمة التي صاغها فون باير (1870) وتساعد O_2 :

$$\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6 = 6 \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 (\text{H}_2 \text{CO}_3 = \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2)$$

ثم تمائر بالسكر .

وبدا مفعول الكلوروفيل لكثير من العلماء مسؤولاً مباشرة عن تضاؤل CO_2 . في فرضية ويلستاتر وستول (1918) ، يطلق النور تحت O_2 وانتاج ادلهيد انطلاقاً من مستحضر تركيبي كلوروفيل - CO_2 . وقد اعتبر التركيب الضوئي وكأنه تفاعل ضوئي كيميائي لتثبيت وتمثل CO_2 في حين لم يوافق ويلستاتر على نوع من التدخل الدياستازي الا في مرحلة التسارع النهائي .

إن هذه النظرية تدخل ضمن تيار التصورات الفيزيائية التبسيطية التي سوف يكشف المستقبل إدعاءها : أبداً لن تتكامل محاولات إعادة تكوين التركيب الضوئي في المختبر ، بتنوير محلول الكلوروفيل ، بالنجاح ضمن الشروط التي عمل فيها ويلستاتر . لا بد من طرق دقيقة مرهفة ومعدات تجريبية خاصة . ويبقى لزوم البرهان قائماً بأن الكلوروبلاست المعزولة أو المشطورة هي التي تحدث حقاً التركيب الضوئي الحقيقي ، وهذا أمر ينازع فيه بعض المؤلفين (و . كاندلر الخ ، 1961) .

منذ 1905 ، سوف تلقى تجارب وافكار الفيزيولوجي الانكليزي ف . ف . بلاكمان حول الحركة في التركيب الضوئي والعوامل الكابحة (ضوءاً ، درجة حرارة ، معدل CO_2) ، سوف تلقى ضوءاً جديداً ، وسوف تحول الاهتمام نحو طرق المستقبل ، بتبيان وجوب التمييز بين مرحلة غامضة مرتبطة بدرجة الحرارة ومرحلة صافية واضحة أو ضوئية - كيميائية ، أولية ، مستقلة عن درجة الحرارة . اطلق روبرغ اسم تفاعل بلاكمان على عملية التمثل الحاصلة في الظلام . وقد اشار بلاكمان إلى أن بعض الاجسام المحرومة من الملونات او الاصباغ ، قادرة عن طريق التركيب

(1) رغم ان معظم النتائج المهمة الحاصلة منذ قليل قد تمت على يد علماء فيزيولوجيا وبيوكيمياء ، يتحكمون بموارد مختبرات قوية ، خاصة في الولايات المتحدة ، فان ما قدمه بعض البلدان الأقل حظاً في الغنى في هذا الشأن ليس باليسير القليل . فيفضل آ . موزيه Moysé ، مدير مختبر التركيب الضوئي في جيف - سور - ايفت ، وعلماء آخريين استمرت فرنسا تحتل مركزاً في البحوث في هذا المجال ؛ إن أعمال ج . وك . بوئي ، تليدي آرنسون ، حول دور ايزونات الكلورور ، وأعمال أ . ب . أوبير وفريقه في مؤسسة باستور ، حول تثبيت CO_2 ، عند البكتيريا غير التركيبية الضوء ، تسجل انطلاقاً باهرة .

الكيميائي ، على تخفيض CO_2 . قدم وريورغ بنفس الاتجاه جملة معطيات مقننة تماماً ، فقد بين (1919) ، الاثر المتعلق بدرجة الحرارة وبالزخم الضوئي على معدل التركيب الضوئي . وقد تم تحليل هذه الوقائع وتأكدت عن طريق التجارب الجميلة التي قام بها فيزيولوجيو باساديئا ، ر . امرسون وو . آرنولد (1932) .

وعمل هؤلاء المؤلفون بواسطة النور المتقطع ، كما فعلت . هـ . برون وف . اسكوب منذ 1905 ، ثم وريورغ ؛ وكانت الادوات المستعملة خزانة خضراء من نوع كلورلاً (وهي مادة قديمها وريورغ) . ويعد سلسلة من المحاولات اعتبرت ذات دلالة ، توفرت الشروط الملائمة إلى أقصى حد ، للانتاج ، وذلك بواسطة تناوب اليرقات القوية انما القصيرة جداً (10^{-5} من الثانية) مع فترات تعميم طويلة نسبياً (أو 0.02 من الثانية) ضمن درجة حرارة ($25^{\circ}C$) . ان المنتج يمكن ان يستمر الآن ، عن طريق تخفيض درجة الحرارة ، شرط اطالة حقبة المرحلة المظلمة ؛ وهناك عوامل أخرى (سيانور) تتيح تغيير تفاعلية التعيم .

واستنتج امرسون بأن التفاعل المظلم يستعمل حاصل التفاعلية الضوء كيميائية ، ويتطلب وقتاً معيناً ، في درجة حرارة معينة ، ليتم كاملاً ، وبالتالي لجعل الكلوروفيل متوافراً من جديد ، ولاتاحة امتصاص جديد لكميات الضوء .

فرضية التحلل الضوئي البيوكيميائية المقارنة - ان نظرية ويلاند - تونبرغ ، ترسم هنا - كما في حالة التنفس - بداية افتتاح حاسم للبحوث . وعاد ك . ب . فان نيل (1929) إلى هذه الفكرة واستخدم معطيات الكيمياء الاحيائية المقارنة التي نادى بها كلوجفر ودونكر (1926) ، فطرح هوية التركيب الضوئي عند النباتات الخضراء ، والبكتيريا الكبريتية وفقاً للصفة العامة : $CO_2 + 2H_2A \rightarrow (CH_2O) + H_2O + 2A$ حيث CO_2 حيث المخفض هو في حالة ماء H_2O ، وفي حالات أخرى H_2S أو مركب عضوي .

الواقع ان هذا لم يكن الا مرحلة أولى ، رئيسية ، في فكر فان نيل . سنة 1941 ، وبعد النظر إلى تناقض أساسي ، هو انه في البكتيريا - بخلاف النباتات الخضراء - يشكل نزع الهيدروجين ، تفاعلية مستقلة عن الضوء ، وضع ايفان نيل مفهوم « التحلل الضوئي » (فوتوليز) باعتباره قاسماً مشتركاً بين التركيبات الضوئية .

ويرد التركيب الضوئي إلى أكسدة إرجاع (احياءات تونبرغ ، 1923 ، ور . ورمسر 1930) : إرجاع CO_2 ، وأكسدة الماء ؛ وفي النباتات الخضراء يعطي الماء الهيدروجين الضروري لإرجاع CO_2 ، كما يشكل مصدراً للأوكسجين المحرر : وهو مفهوم جديد للغاية ، اذ منذ . دي سوسور (1804) ، كان يفترض ان الأوكسجين المتصاعد يتأتى من تفكك CO_2 . وفي التركيب الضوئي البكتيري ، يوجد أيضاً تحلل ضوئي للماء ، ولكن التفاعل الانزيمي لا يقتضي مساعدة الضوء ، ولكنه اذا تناول معطياً خارجياً للهيدروجين مثل (H_2S) فانه يُرجع المعطى المؤكسد (فيولد بالتالي المعطى المرجع وهـ H_2O) : ضمن هذه الشروط لا يتحرر O_2 ، وهي واقعة تميز بصورة أساسية التركيب الضوئي في البكتيريا ، وفي الاشنة ، كما تميز النباتات العليا .

إن فرضية فان نيل « حول التحلل الضوئي للماء » وحول وحدة تفاعلية الكيمياء الضوئية في كل الاجسام ذات القدرة على التركيب الضوئي ، قد كان لها التأثير الاكثر حسماً حول تطور البحث في هذا المجال ، وبصورة أعم حول الفكر البيولوجي .

اكتشاف التخليق الضوئي - اكتشف هـ . غافرون (1940-1944) ان بعض الاشنيات الخضراء (سنيديسموس) ، بعد مرحلة التلبث الحمل في الظلام ، ثم التخمر اللاهوائي نكتسب القدرة على امتصاص CO_2 في الضوء ، باستعمال H_2 وليس H_2O ، ودون أن يؤدي ذلك إلى إطلاق O_2 . وذات الاجسام تستطيع في الظلام ، وبوجود $H_2 + O_2$ ان تقلص أو تمتص CO_2 : « عملية الامتصاص » في حالة أولى ، ثم تركيب كيميائي في حالة أخرى .

وقد دلت الأعمال اللاحقة أن « التخليق الضوئي » لا يقترن عموماً بإطلاق O_2 وانه يقتصر على تركيب ضوئي بكثري ؛ ولكن الظاهرة تبدو أكثر تعقيداً (ل . هورويتز 1957) . وقد اكتشف غافرون دعماً قوياً جداً للمفاهيم التوحيدية ، ثم لفرضية فان نيل ، ولو بصورة جزئية على الأقل .

الغذاء الكربوني كأولية كونية - إن المفاهيم المتعلقة بالغذاء الكربوني قد تعدلت بشكل عميق على أثر أعمال هـ . ج . وود وكـ . هـ . وركمان (1935-1939) حول التخمر البروبيوني (الحامضي) وأعمال د . د . وودس Woods ، هـ . أ . باركر الخ . كان من المقبول في السابق القول بوجود كائنات ذاتية التغذية تستطيع امتصاص CO_2 ، وكذلك وجود كائنات تغذية لا تستطيع بذاتها تركيب المواد الكربونية . وبين وود ووركمان Werkman ان البكتيريا الغيرية التغذية المشهورة تستطيع تثبيت CO_2 ، ثم تحويل جسم ما من C_3 (كربون مكثف) إلى C_4 . وهذه الظاهرة قد أثبتت في أجسام معتبرة خارجية التغذية ، وأكثر علواً في سلم التصنيف (نباتات عليا وحيوانات) . ويجب الافتراض ان الامر يتعلق هنا بصفة شاملة تشمل المادة الحية ، ومرتبطة بوجود تجهيز انزيمي أساسي من الخلايا . في الكائنات ذات التغذية الخارجية ، تحرم هذه الصفة من كل وظيفة اساسية ، ولكن ، في مفهوم أوبارين (1957) ، انها تحكم بيروز الاغصان الذاتية التغذية اثناء النمو والتطور .

هذا المفهوم الشمولي المطبق على تثبيت CO_2 له فائدة قصوى . فهو التعبير الافضل تحديداً ، عن نزعة سبق رسمها في أعمال بلاكمان وفان نيل وهي : ان الظاهرة الاصلية ظاهرة التركيب الضوئي تقع في المرحلة الواضحة . وبكلام آخر بدل التركيب الضوئي والغذاء الكربوني على تفاعلية متميزة (من هنا يمكن الاستطراء في القول ان قدرة التركيب الضوئي هي صفة تكتسب فيما بعد) . ان مفاهيم وبلستاتر وغيره يجب التخلي عنها . وتثبيت الكربون يجب أن يتم بالكربنة الانزيمية من عنصر مجهول وليس بفعل الضوء المباشر .

الملونات وبنيتها الكيميائية - في سنة 1906 كانت بداية البحوث الحديثة حول كيمياء الكلوروفيل ، بواسطة أعمال م . تسيوت الذي توصل عن طريق منهجية أصيلة تماماً تتعلق بالامتصاص الفاضلي ، إلى فصل ملونين اخضرين وخمسة كاروتينويد [ملونات جزرية] . وفي سنة 1906 أيضاً ، بعد أعمال أساسية قام بها م . فون نينيكي (1901) ، قام العالم الالماني الكبير ر . وبلستاتر ببحوث باهوة قادتة إلى اكتشاف البنية الكيميائية للكلوروفيلين «a» ، وإلى نشر -

بالتعاون مع أ. ستول ، الكتاب الكلاسيكي *suchungen über chlorophyll* (1913)⁽¹⁾ . ومنذ ذلك الحين تابعت البحوث في هذا المجال الكيميائي ، بكثافة ، خاصة بفضل أعمال هـ . فيشر في ميونيخ (منذ 1929) ، وهـ . هـ . ستيرين (سنة 1942) ، الخ . حول بنية الكلوروفيل بأنواعه ، وأيضاً أعمال ج . ب . كوانت ، وأعمال ب . كارير (1931) ور . كوهن (1932) Kuhn . حول الملونات الجزرية وأعمال ك . نواك وو . كيسلن (1930) حول التوالد الاحيائي للكلوروفيل . وقد اختتمت هذه الاعمال بنتائج مشهودة مثل التعرف على حوالى مئة نوع من الملونات الجزرية أو تركيب الكلوروفيل ^a (2) .

تحتوي الاوراق الخضراء عموماً على نوعين من الكلوروفيل (a ، b بنسبة $a/b = 2$) وهذان النوعان قلما يختلفان ، كما تحتوي الاوراق الخضراء على ملونات جزرية (كزانتوفيل وكاروتين) ذات الدور ، القليل الوضوح هنا ، انما المهم في الاشنات وفي البكتيريا حيث تؤمن تحول الطاقة الضوئية إلى كلوروفيل . ومن بين القطاعات الاكثر نشاطاً في البحث المعاصر هناك قطاع تناول الدراسة الوظيفية لمختلف أنواع الكلوروفيل وغيرها من الملونات ، على الطبيعة وفي المختبر (ج . فرانك ، ك . س . فرنش ، الخ) . ويرى ل . ن . دويسانس (1952) Duysens انه يوجد نقل طاقة من الملونات الجزرية ، ومن الكلوروفيل b إلى الكلوروفيل a ، ويوسع هذا النظام طاقة الامتصاص على مختلف أطوال الموجات من أجل الاستخدام من قبل الكلوروفيل a (أو نظيره) ان مفعول الكلوروفيل b يمكن أن يربط بتفاعل ثان ضوئي (ارنون 1961) .

المردود الكمي للتركيب الضوئي - طبق وربورغ ونيجيلين (1922-1923) نظرية الكتسا على التركيب الضوئي ، في دراسة كلاسيكية حول مردود الارتداد الطاقوي .

إن أعمال هـ . ت . برون وف . اسكوب (1905) ، التي تناولت النباتات العليا ، قد بينت ان حوالي 1% من الضوء النازل يؤسر بواسطة التركيب الضوئي ، والباقي يستخدم في التبخير (49%) أو يرد بشكل ضوء أو حرارة . والحساب السريع يدل على أن الأحمر ($m\mu 670$) ، حزمة امتصاص رئيسية) فيه 3 كتسا من الضوء تكفي لتحليل جزيء CO_2 . ولكن كم يجب منها عملياً ؟ وتصدى وربورغ ونيجيلين للإجابة على هذا السؤال . وتجاربهما ، الرائعة والموسومة بجدة التقنيات ، وجدة الموضوع ، ثم بالعناية التي أضيفت على تحضيرهما ، اعتبرت معلماً . يرى وربورغ أن أربعة كتسا تكفي ، في حالة « الكلوريل » لتحويل جزيء من CO_2 ، مما يمثل مردوداً عالياً جداً (70%) . وقد انتقد ر . أمرسون وك . م . لويس (1939-1941) هذه التجارب فهما يريان ان عدد الكتسا الأدنى يتراوح من 8 إلى 12 (وان المردود هو 23-34%) . وأيدت غالبية الاعمال الحديثة اتجاه نتائج أمرسون ، الا انه لم يقم أي دليل حاسم فيحوز الاجماع . وهنا أيضاً فتح وربورغ فصلاً في العلم .

(1) الكلوروفيل هو مركب ماغنيزي له أربع نوى بيروك (أي بروفيرين) ، وترتبط ذرة المغنيزيوم بأربع ذرات آزوتية ذات نوى بيروك ؛ وفي الهيموغلوبين يحل الحديد محل المغنيزيوم .

(2) راجع أيضاً الفقرة VII ، الفصل XI من القسم الثاني .

2 - من 1937 إلى 1960

طرق البحث الجديدة - ان أولى نجاحات هيل فيما يتعلق بعمل الكلوروبلاست المعزولة ، تقع بين 1937 و 1939 ؛ وهذه النجاحات تعود إلى الحصول اصطناعياً على افراز الاوكسجين O_2 في الضوء ، في حضور قابل هيدروجين (غير CO_2) .

وتفاعل هيل يبين استقلالية تفاعلية المرحلة الواضحة (الضوئية) ؛ وهذا التفاعل يدعم في مطلق الأحوال وبجدية تامة فرضية التحلل الضوئي للماء ، كما يتميز بأنه فتح الفصل المدهش ، فصل البحث حول جسيمات خلوية خارج الخلية . وفي سنة 1940 نشر ج . أ . كوش وهـ . روسكا انصور الاولى للكلوروبلاست بواسطة المجهر الالكتروني .

في سنة 1941 قدمت أعمال البيوكيميائيين الاميركيين روين ، ورنالد ، وكامن وهيد برهاناً اعتبر شبه حاسم لصالح تحليل الماء الضوئي .

وقام هؤلاء العلماء بالعمل على كلوريل فوسموا بـ ^{18}O الماء الموضوع في تصرف النبتة في حالة التركيب الضوئي ؛ وعثر على العنصر الموسوم وفقاً للنسبة الاساسية في الاوكسجين المتصاعد . وفي تجارب رقابية اتبع نفس الوسم المحقق فوق CO_2 بتساعد اوكسجين عادي . وفي ذات السنة توصل السوفيتيان أ . ب . فينوغرادوف و ر . ف . نيس ، بعد استخدام نفس التقنية ، إلى نفس النتيجة ؛ وعندها امكن اعتبار الاوكسجين المحرر في التركيب الضوئي في الاشئات وفي النباتات الخضراء متأبياً من تفكك الماء ؛ وهو أمر لم يوضع بعدها موضع التساؤل .

وفي سنة 1948 ، كان التفاعل الغامض بدوره موضوع استقصاءات رئيسية ؛ فقد توصل بيوكيميائيون اميركان : كالفن ، بانسون وغيرهما إلى التعرف على « حامض -3- فوسفوغليسريك » باعتباره أول ناتج ثابت مكون بفعل تثبيت CO_2 . ومنذ ذلك الحين شوهدت حركة تطور في البحوث المدهشة .

تجدد مفهوم التركيب الضوئي : د . أ . ارنون Arnon ومدرسته - في سنة 1954 بين بواشنيكو وف . أ . بارانوف والاميركيون ارنون ، م . ب . ألن وت . ف . و . واتلي من جامعة بركلي ، على غير انتظار ، وفي ظروف خاصة ان الكلوروبلاست المعزولة قادرة على تثبيت CO_2 ؛ ولأول مرة نجحت عملية التركيب الضوئي الكاملة خارج الخلية ؛ ويعمزل عن التنفس لأن الكلوروبلاست لا تتنفس (ارنون ، 1955) . وهكذا تم الحصول على صنع الاميدون (النشاء) انطلاقاً من CO_2 و H_2O .

وهكذا اكتمل اختراع تقنية هيل ؛ فهي أكثر « من تفاعل كلوروبلاست » ، مفهوم تضيقى لهيل نفسه ، لقد كانت التركيب الضوئي بالذات : مرحلة ضوئية ومرحلة ظلامية ، وفيها لم يكن للنواة البلاسمية أي دور .

وهذه النتائج قلبت المفاهيم السائدة القائلة بأن التركيب الضوئي كان مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً بالبنية الخلوية . ومنذ 1958 تم التوصل إلى تجزئة الكلوروبلاست ثم إلى فصل المرحلتين فصلاً

مادياً (أ . ف . تربست ، الخ) . وفي زمن أول عملت الكلوروبلاست المعزولة والكاملة بدون إضاءة ويغيب CO_2 . وفي زمن ثان انتزعت الأقسام الخضراء (غرانوم) ، واستمرت العملية في الظلام مع وجود CO_2 : وقد عنت التفاعلية بالستروما وحدها (أي بالقسم غير الأخضر) فادت إلى صنع السكر . وكانت النتيجة ذاتها كما لو ان العملية قد استمرت ؛ وبدت الستروما متدخلة في المرحلة الضوئية (ارنون ، 1957) .

ولكن اعمال ارنون وآخرون ادت إلى مفهوم للتركيب الضوئي متجدد بعمق ، فالتركيب الضوئي لم يكن أساساً تفاعلية تمثل CO_2 ، فبدأ وكأنه مكتمل قبل مرحلة التعميم أو الظلام . فما هو إذا التركيب الضوئي ؟

منذ 1943 ارتأى روبين بنوع من الإلهام فرضية الفسفرة المتزاوجة مع تفاعلات ضوئية كيميائية والمنحكمة بتحليل CO_2 ؛ في حين تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة بشكل PNH_2 (DPN أو TPN) و ATP . وبعد ذلك جاءت تجارب تدعم هذه النظرية ؛ وأصبح واضحاً فضلاً عن ذلك ان ATP يلعب دوراً أساسياً في تفاعلات المرحلة المظلمة .

وقد أشرنا إلى مفهوم الفسفرة المقرونة بالأكسدة في السلاسل التنفسية : تأتي الطاقة الحاصلة بشكل ATP في أكسدة $DPNH_2$ ، في الميتوكوندري ، وهو موضع التنفس الهوائي . وقرر . و . فيشينيك وس . أوشوا (1951-1952) انه بفضل إضاءة محلول كلوروبلاست معزولة يتم الحصول على تخفيض ، في نظريهما ، من نمط تخفيض هيل ، ولكن الـ PN فيها يمثل قابل الهيدروجين : $2PN + 2H_2O \rightarrow 2PNH_2 + O_2$.

وقام الباحثون أنفسهم بادخال الميتوكوندري لاعمالها مع وجود O_2 ، فتوصلوا بالتجربة إلى انتاج ATP : انها لفسفرة تأكسدية . وإذا يوجد تفاعليتان معروفتان من أجل خفض الفوسفور بيريدين النووي (نوكليويد) : الأولى ضوئية كيميائية والأخرى تدخل أثناء الأكسدة التنفسية (عند مستوى الجوهر) عن طريق نزع الهيدروجين .

وبعد اكتشاف فيشينيك وأوشوا ساد الاعتقاد بأن تركيب ATP في الميتوكوندريا ينتج عن تزاوج مع إعادة أكسدة ميتوكوندري لـ PNH_2 (مع وجود O_2) : وهذه الأكسدة - الإرجاع والفسفرة تقضيان تعاون الكلوروبلاست والميتوكوندري .

ودور الضوء في التركيب الضوئي بدأ واضحاً . ولكن بعض الصعوبات سوف تعود وتطلق البحوث ، وخاصة ان الميتوكوندري تكون قليلة العدد في الخلايا الكلوروفيلية .

في سنة 1954 بين ارنون وفريقه ، بعد استعمال الكلوروبلاست المعزولة ، وجود فسفرة تركيب ضوئية : وكان هذا اكتشافاً عظيماً جداً . فالطاقة الضوئية قد تحولت مباشرة الى طاقة كامنة تستخدم مباشرة بشكل ATP وفي داخل الكلوروبلاست بالذات ، دون معاونة من الميتوكوندري ، انطلاقاً من فوسفات معدني ومن ADP . وهذا يشكل ظاهرة مختلفة تماماً عن الفسفرة التأكسدية التي قال بها فيشينيك وأوشوا . وفي نفس السنة رصد أ . و . فرنكل نفس التفاعلية في البكتيريا ذات

التركيب الضوئي . وإذاً فهناك اوعية عامة مشتركة بين كل الاجسام ذات التركيب الضوئي .

وفي محاولة فهم مسار هذه الفسفرة ، اكثر أرنون من الرجوع الى المعارف المكتسبة حول التنفس . وبعد ان حاول ان يوفق بين فرضية فان نيل حول « تحلل » الماء الضوئي وبين الوقائع الجديدة ، اقترح أخيراً رسيمة اصيلة مرتكزة على نقل الالكترونات نقلاً يشبه الفسفرات التأكسدية : الى درجة ان معطي الالكترونات ومتلقيها هما هنا شيء واحد بالذات هو الكلوروفيل . من هنا اسم الفسفرة الضوئية الدورية الذي اعطي للعملية . ان كل جزيء من الكلوروفيل المنشط بكمية من الضوء ، يطلق الكترونًا ، ويأخذ حالة أكسدة قابل للالكترونات . والالكترون المطرود المرفوع الى مستوى عالٍ من الطاقة ، يمر بسلسلة من الناقلات ثم يقلص من جديد الكلوروفيل . وتندمج او تتزاوج عملية فسفرة ADP في هذه الحلقة .

واعتقد أرنون ان هذه الفسفرة الدورية البدائية ظاهراً ، البادية في كل الاجسام ذات التركيب الضوئي ، يجب ان تكون القاسم المشترك ، ولكن اعمالاً حديثة (أرنون ، 1961) دلت في البكتيريا ايضاً على وجود اليات فسفرة ضوئية غير دورية تشبه اليات الكلوروبلاست . من هذا النمط من التفاعلات ، ينتج في النباتات الخضراء المحصول المزدوج PNH_2 و ATP .

في هذه الحالة يتفكك الماء الى ايونات H^+ و OH^- ويصبح مصدر تحرير O_2 ومصدر انتاج بروتونات والالكترونات ضرورية لتشكل ATP و $TPNH_2$. وتستخدم الالكترونات المطرودة من قبل كلوروفيل الكلوروبلاست ، بعد ان تكون ، في كل مرة ، كما في الحالة السابقة ، قد امتصت فوتونًا ، مستعملة مع البروتونات (H^+) في عملية خفض TPN : وهذا النظام ليس دورياً .

والاعمال الاكثر جدة (م . لوسادا ، ف . ر . واتلي وأرنون ، 1961) دلت على ان الطاقة اللازمة من اجل اكسدة الماء (خسارة الكترون) في عملية التركيب الضوئي ، تنتج عن تأثير الضوء ، انه تفاعل ثان ضوئي أو ضوئي مؤكسد يتيح للكلوروبلاست ان تستخدم الماء كمقدم للالكترونات (وهذا محظور على البكتيريا) .

وقد استطاع المؤلفون انفسهم ان يبينوا انه في الكلوروبلاست ، حيث تعطل اكسدة الماء بالضوء ، تعطل اصطناعياً ، وفي حالة وجود معطٍ اخر للالكترونات ، يوجد تخفيض في TPN ، كما يوجد فسفرة ضوئية دون تصاعد O_2 : هذا هو النمط البكتيري في عملية الفسفرة الضوئية . فالبكتيريا ذات التركيب الضوئي تستخدم ، في هذا الشأن مقدمات الكترونية غير الماء وبالتالي تخفض PN ، ولكنها تستطيع ايضاً تثبيت H^+ أو N_2 ، بفضل تجهيز انزيمي خاص ؛ وبحسب ما هو مقدم للالكترونات ، فانها اي البكتيريا تحتاج أو لا تحتاج الى طاقة ضوئية .

وفي مجال التركيب الضوئي ، تقدم كل سنة جردتها من الاكتشافات الكبرى ، ويمكن التنبؤ بان المستقبل القريب سوف يدفع بعمارنا الى الامام بشكل انجازات حاسمة . من المسلم به الفكرة الكبيرة القائلة بان التركيب الضوئي يعني اساساً فسفرة ضوئية ، اي التقاط الطاقة الضوئية بشكل ATP (مباشرة او مدورة بفعل تخفيض ال PN) .

تثبيت وتخفيض CO_2 . دورة تخفيض الكربون او دورة كالفن - ان صياغة نظرية حول

التفاعلات الحرارية الكيميائية في التركيب الضوئي - وهي محاولة تكررت كثيراً بدون جدوى في الماضي - تركز الآن ، وبعد حوالي عشر سنين من البحوث المكثفة ، على عدد كبير من المعطيات ، أو - في حال عدم وجودها - على احتمالات قوية . هذه النهضة المفاجئة والمتأخرة في قطاع من البحوث معقد بشكل خاص ، نجد تفسيرها في تصافر عوامل متنوعة : تقدم حاصل في معرفة بعض الوظائف ، وتجدد التقنيات وإيضاً بروز علماء من الطراز العالي ، امثال علماء فريق بركلي : ج . أ . بـسام ، أ . أ . بنسون الخ ، مجتمعين حول م . كالفن . والمعارف المكتسبة في دراسة الايض الوسيط ، والتخمرات والتنفس ، كان لها التأثير الاكبر ، وخاصة استعمال تقنيات عزل الانزيمات (أ . راكر ، 1955) . والمنتجات الوسيطة المتتالية من عملية الغلوكوليز ، والمنتجات المتتالية من دورة بانتوز [جلوسيد غير قابل للهدرجة] ، تتواجد في الإرجاع الحراري الكيميائي للكربون ؛ ودورة كربس المولدة لـ CO_2 ، تساهم أيضاً في تركيب الحوامض الامينية وغيرها من المركبات . الواقع ان التنفس بمعناه الواسع ، والمرحلة الغامضة في عملية التركيب الضوئي يظهران كوظيفتين كبيرتين متداخلتين ومتكاملتين الى حد ما ، ولهما جذوع مشتركة . وتستخدمان نفس الانظمة الانزيمية . هذا الفصل من فصول تمثل الكربون المعروف ، منذ وود ووركان ، بأنه ليس مقصوراً على الخلايا التركيبية الضوئية ، يجب ان يدخل حكماً في الاطار العام ، اطار الايض الخلوي وفي علم الانزيمات .

لقد مارس كالفن ومدرسته ، وينجاح كبير التقنيات الايزوتوبية والتصويرية الضوئية . واستخدموا ^{14}C فاستطاعوا تتبع مسار هذه التقنيات وسرعتها . ان تجارب هـ . غافرون ومجموعته (1947) وخاصة تجارب كالفن ومجموعته (1947-1950) قد دلت على انه ، اذا اوقفنا عملية التركيب الضوئي ، بعد تعرض لعدة ثواني الى $^{14}CO_2$ ، في الظلام ، نثر على منتجات مختلفة كربونية ، (ومن بقاياها اثار حوامض امينية) ، منها مستحضر واحد بكمية كبيرة ، هو اسيد -3- فوسفوغليسريك أو APG ، وهو جسم من C_3 . ودراسة هذا المركب اثبتت من جهة أخرى غنى الكاربوكسيل بالنشاط المشع ، مما أدى الى الاستنتاج بان APG يتولد عن طريق الكربنة اي تثبيت CO_2 الممصوص بواسطة قابل من C_2 . وهكذا ندحض فرضية أ . فون باير (1870) القائلة بان المنتجات الاولى لتخفيض CO_2 تكون اوكسيد الكربون والفورمول . وقدمت توضيحات حول « المرحلة الكربونية » (ج . ل . كاييلي ، ر . ك . فولر ، بنسون وكالفن ، 1954) . ففي سنة 1951 تعرف بنسون على بانتوز هو الريبولوز الفوسفاتي المشوي (ديفوسفات) وعلى هيتيلوز بين الاجسام الموسومة المعلمة : الواقع ان الريبولوز ديفوسفات المنبثق عن الريبولوز الوحيد الفوسفات (مونوفوسفات) بمساعدة ATP ، يشكل قابل CO_2 (مجموعات كاييلي ، أ . وباش ، أ . كورنبرغ ، 1952-1956) . ان الريبولوز ديفوسفات يعد ان يتكرين ينكسر فيعطي APG وهو اول جسم تركيبي : وهكذا لا يكون لقابل C_2 وجود مستقل . وننتقل من الـ APG ، بالتخفيض وبمساعدة ATP و $TPNH_2$ ، الى السكر المفسفر ، وهو ثلاثي (تريوز) فوسفاتي ، ثم هكسوس (سداسي) فوسفاتي (ومن هنا نتجه الى سكاروز والسكريات المتعددة) ، وهذه هي « مرحلة التخفيض » . واخيراً نعود من الهكسوس الى الريبولوز الوحيد الفوسفات بواسطة عدة بتوز او

هيتيلوز ، وتعود الدورة الى التوالد (المرحلة التوليدية عند أرنون) .

كل هذه المراحل في هذه الدورة تقتضي عدداً مساوياً من الانزيمات ويمكن ان تكون اصلاً لتحويلات واشتقاقات باتجاه التركيبات المتنوعة . تلك هي الرسيمة الحالية الأكثر شيوعاً وقبولاً ، حول تفاعلات المرحلة المظلمة في التركيب الضوئي . ونرى ان تفاعل بلاكمان هو في الواقع جملة من الاواليات المعقدة لا يمكن ان نختصرها بصيغة وحيدة .

IV - لمحات عامة حول بعض المسائل

التغذية المعدنية - في بداية هذا القرن كان هناك 7 اجسام بسيطة - اذا استثنينا عناصر اساسية : مثل الكربون والهيدروجين والاكسجين - بدت اساسية في تغذية النباتات العليا هي : الازوت والكبريت والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيزيوم ، ثم بكميات صغيرة جداً الحديد . ودلت البحوث العصرية ، على اثر اعمال ج . برتران وم . جافليه (1897-1912) واعمال ب . مازيه Masé (1914) ، على انه الى جانب العناصر الكبرى ، تلعب عناصر اخرى دوراً اساسياً انما بكميات متناهية القلة ؛ انها العناصر الميكروسكوبية أو الضرورية وبها يلحق الحديد .

ان الحاجة المطلقة الى ستة عناصر ضرورية قد حسمت نهائياً بخلال اعمال لاحقة لسنة 1920 : هذه العناصر هي : المنغنيز (ج . مك هارغ ، 1922) ، ألور (ك . رونغتون ، 1923) ، الزنك (أ . ل . سومر وك . ب . ليتمان ، 1926) النحاس (ليتمان وج . ماكني ، سومر ، 1931) ، موليبدين (أرنون وب . ر . ستوت ، 1939) الكلور (ه . دي جاجر ، 1933 ، وريورغ Warburg ، بوفيه Bové) . ان الحاجة الى بعض العناصر الاخرى مثل الكوبالت والفلاناديوم ، لم تثبت حتى الوقت الحاضر . هذه النتائج ذات الاهمية القصوى لم تحصل الا على اثر العديد من الاعمال وعلى اثر تحسين ضخم في تقنيات الزراعات التركيبية : واتخذت تدابير احترازية دقيقة وقياسات استثنائية بشأن التطهير والتعقيم من اجل اكتشاف دور عنصر متناهي الصغر مثل الموليبدن الذي له تأثير بتركيز مقداره 10^{-9} من الغرام في السنتيمتر المكعب .

ان الدراسات حول التغذية المعدنية قد استفادت من طرق زراعة الاعضاء (ب . ر . وايت ، وزوينس ، 1922-1923) والانسجة (ر . هلر ، 1953) . والدراسة المنهجية للمحاليل الغذائية المتوازنة ، فيما يتعلق بتركيزاتها الايونية (NO_3^- ، Ca^{++} ، K^+) ادت الى صنع وسائل تركيبية كانت تطبيقاتها النظرية والعملية عديدة (الزراعة البحرية الصناعية ، و . ف . جيريكى Gericke ، 1936) ، (و . تونغهام وج . و . شيف ، 1914 ؛ ك . هامر ؛ د . ر . هوجلاند) .

ان افتقار التربة الى بعض العناصر المعدنية الضرورية تنعكس على النبات من خلال مؤشرات ملحوظة ترى بالعين المجردة (كلوروز ، جفاف . . .) ، ولكن هناك نقصاً لا يمكن اكتشافه يبين . ان الطريقة العبقريّة القائمة على التشخيص الورقي والتي تمكن عن طريق تحليل الورقة من تكوين فكرة دقيقة عن نقص هذا الجسم او ذاك (فوسفور ، أزوت ، بوتاسيوم) تلاقى قبولاً حسناً في الزراعة .

ان الفوسفور ، والكبريت والمغنيزيوم والكالسيوم هي ، بصورة رئيسية ، عناصر بنوية في الخلية . فالفوسفور هو مكون للحوامض النووية ، وللغليوكوليبيد ، وللمركبات الفوسفاتية الاساسية في عمليات تحويل الطاقة . والكبريت موجود في بعض الحوامض الامينية ، وفي الغلوتاثيون ، والكالسيوم في مواد الاغذية ، والمغنيزيوم في الكلوروفيل (وله ايضاً دور انزيمي) . ونجهل دور بعض العناصر ، وتدخل عناصر اخرى كالحديد والنحاس والمغنيز ، والموليبدنيم أو الزنك ، وربما البوتاسيوم ، في تركيب الانزيمات . ويتدخل ايون الكلورور في عمليات الفسفرة بخلال عمليات التركيب الضوئي .

والمسألة الاكثر تعقيداً ، حول تسرية اغشية البلاسما النووية ، فتحت المجال امام بحوث متعددة وامام مجادلات اقترنت منذ بداية القرن باسماء ا . اوفرتون ، وهـ . روهلاندووه . فيتنع ، الخ .

وسنداً الى ر . كولندر (1921-1933) تتسرب المواد العضوية (غليسول ، بسولة ، سكاروز) بسرعة تناسب مع درجة الذوبانية الدهنية فيها ، وتناسب عكساً مع حجم الجزيئات ؛ يتضمن الغشاء مسام ذات احجام غير متساوية . والمعطيات الحديثة ، خاصة تلك التي تقدمها الدراسة بواسطة المجهر الالكتروني ، تنبئ بتعميق لمعارفنا حول هذه الظاهرة الانتشارية .

وفيما يتعلق بالمواد الايونية ، تلعب البلاسما النووية دوراً نشطاً ، بالترابط مع التنفس ، وهذه الوقائع ثبتت منذ 1936 (هـ . لوندغارد ، ف . ك . ستوارد ود . ر . هوغلاند) . اضافة الى ذلك ، يكون امتصاص الايونات انتقائياً (اوسترهوت ، 1922 ؛ كولندر 1941 ، الخ) . في سنة 1906 بين اوسترهوت ان التسرية تتعلق ايضاً بالتوازن الايوني في الوسط ، وهذا التوازن يتج عن التضاد بين ايونات امثال K^+ أو Na^+ تجاه الايون Ca^{++} . ان هذا المفهوم مهم : فالايونان Na^+ أو K^+ ، وحدهما ، يزيدان التسرية الخلوية للدرجة تجعلهما يعتبران كسموم ؛ اما الايون Ca^{++} فهو نوع من مضادات التسمم .

ان الامر الذي بينه العلم الحديث قبل كل شيء ، وعمقه ، هو ان التربة ، في علاقاتها المباشرة مع النبتة ، ليست بالنسبة الى هذه الا اصلاً أو جوهراً يزودها بالاكسيجين ، والماء والاملاح المعدنية ، وان ليس لخصائصها الفيزيائية والبيولوجية الا دور غير مباشر . كما ان العلم الحديث ، من جهة اخرى قد تعمق الى حد بعيد بتحليل الغذاء المعدني ، واولياته ، التي ظهر دورها النشط ، دون انكار ، مع ذلك ، او اهمال للمظاهر الفيزيائية (مثل الامتصاص ، الخ) .

اقتصاد الماء . تغيير المكان - ان اقتصاد الماء في النباتات العليا مرتبط بشكل خاص (نظرية التماسك ، 1895) بظاهرة التعرق ، التي برزت تعقيداتها بفضل البحوث الحديثة .

والواقع ان تقدماً جديداً ما يزال ينتظر التحقيق من اجل فهم والية التعرق على مستوى الستومات . ان الدور الاولي للضوء في عملية التعرق ، قد ثبت منذ 1916 على يد الفيزيولوجيين الاميركيين ، ل . ي . بريغس وهـ . شانتز ، وهويدل ان الاسم هنا ليس مجرد ظاهرة بسيطة

تبخيرة . اذ يعتقد ان فتح المسام ينتج عن تزايد الضغط الامتصاصي في الخلايا الامتصاصية في علاقاتها مع التركيب الضوئي داخل كل الميزوفيل (ر . ج . ويجنس 1921, Wiggins ؛ ج . د ساير 1925, Sayre ؛ هيث 1948, Heath) ؛ وانخفاض معيار CO_2 في الغرفة تحت - المتوماتية ، يطلق الفتح .

والتصور الحديث لنقل الموضع ، أو تحول المواد المصنعة نوعاً ما في النبتة ، ما يزال بعيداً عن حالة الارضاء . ان الاحجية المطروحة حول عمل أنابيب اللحاء لم تحل تماماً . وقد قدم أ . مونش (1930) وآ . س كرافنس نظرية امتصاصية ، ولكن مؤلفين آخرين يتكلمون عن الانتشار وعن تيارات بلاسمية نواتية (و . ف . كورتيس ، 1935-1950) . ويمكن الظن ، عن تعقل ، ان المفاهيم الثلاثة تتكامل .

والى الجذور والثمار يخصص القسم الاعظم من المترجات المصنعة في الاوراق ؛ ويتابع التصنيع في الخلايا غير الكلوريلية ، كما بين ذلك هـ . كولن منذ 1916 .

وأتاح تجارب بواسطة النظائر المشعة الحصول على عدد كبير من المعلومات حول معنى وسرعة التقلات . والسكراروز الذي يمثل معظم المنتجات المصنعة في الاوراق عن طريق التركيب الضوئي ، ينتقل من الاوراق نحو الاعلى ونحو الاسفل في النبتة ، عبر الانسجة الحية ، والانابيب المثقبة من اللحاء (د . بيدولف ، 1939-1953) . وتجتاز المواد المصنعة دورة من الورقة الى الجذر ومن الجذر الى القمة (آ . ل . كورسانوف) . وبعض الاجسام (الفوسفور والكبريت) تتمتع بحركية اكبر من اجسام اخرى (الكالسيوم) . ويبدو ان النترات يمكن ان تتحول تماماً أو جزئياً ، في الجذور ، وان الحوامض الامينية تسلك سبيل الاوعية الخشبية (أ . ج . بيلارد ، 1957) .

واكدت الاعمال الحديثة النظرات القديمة حول دور الاوعية والقصبات في الخشب : فالنخس الغام المنقل بالاملاح المعدنية والمستحضرات الازوتية يرتفع فيها بسرعة ، ولكن هناك دورة غرضية باتجاه اللحاء والبراعم (پ . ر . ستوت وهوجلاند ، 1939) .

التفذية الازوتية - حول هذه المسألة المعقدة جداً والاساسية جداً اذ بها يتعلق تخليق الاقسام الاساسية في الخلية تظهر ابحاث لا حصر لها كل سنة . ان التقدم الطبيعى ، هو من نطاق البيوكيمياء وعلم الانزيمات . وما ندين به تجاه هذا العلم بشكل خاص ، هو تصور جديد وعام لطبيعة البروتينات ، ودورها وتجدها . منذ البحوث الكلاسيكية التي قام بها آ . فيشر (1902-1907) وت . ب . اوسبورن (1909) ، تم اجتياز درب طويل في معرفة الحوامض الامينية ، خاصة بفضل اعمال آ . ج . پ . مارتن ور . ل . م . سنج (1945, Synge) التي ادت الى الاستعمال الشائع للطرق الميكروسكوبية ذات الاهمية القصوى .

هناك أربع مراتب من الوقائع يجب ذكرها من بين الاكثر اهمية :

1 - ان التقدم الحاصل في التوبوكيمياء (اي كيمياء المواقع) ، وخاصة اعمال ج . براشيه

ور . جينر (1944) قدّم البرهان ، المثبت فيما بعد ، على دور الميكروزومات ، وهي عناصر في البروتوبلازما غنية بحوامض ريبونوية ، في تخليق البروتينات البروتوبلازمية ، تخليق يكون تحت سيطرة النواة بصورة غير مباشرة . وتبين من جهة أخرى (و . ك . شيندر 1956, Schneider) ان الكثير من الانزيمات يتموضع في الميتوكوندريا .

2 - بينت اعمال ر . شونهيمر Schoenheimer وغيره (1940) ان البروتينات النسيجية هي في حالة تجمّع وتجدد دائم : اذ يوجد دون توقف ، في كلّ الخلايا ، تدمير ، واستفار واعادة تركيب وتخليق للبروتينات .

والاوراق المبثورة لا تستطيع المحافظة على التوازن البروتيني ؛ وقسم كبير من النشرات يتحول داخل الجذور : وهذه الوقائع تبدو وكأنها تقتضي وجود حامض اميني مستحدث في الجذر وضروي لتخليق البروتينات الورقية .

3 - اعمال الاميريكي و . م . ستانلي (1935) الذي نجح في عزل فيروس - بروتين فيفساء التبغ ، بحالة تبلر (سندأ لاعمال حديثة (1955) ، لم يتبين ان الفيروس مكون بكامله من بروتينات نووية) .

وقد تم احتياز خطوة كبيرة في علم الفيروسات (فيرولوجيا) سنة 1955 عندما نجح هـ . فرنكل - كوترا ور . ك . وليامز في فصل حوامض نووية ومركبات بروتينية من الفيروس ثم اعاد هذا الفيروس الى حالة نشاط بيولوجي .

4 - التقدم الحاصل في معرفة تفاعليات تثبيت الامونياك وادخاله في المركبات العضوية (ف . كنوب وهـ . اومترلن Oesterlin 1936 ؛ آ . أ . برونشتين 1937, Braunstein ؛ آ . ك . شينال Chibnall 1939) .

واحدى الوسائل الاكثر استعمالاً في التنبه هو تخليق حامض غلوتاميك انطلاقاً من حامض محسوم من الازوت (حامض ميتوغلوتاريك المصنوع اثناء التنفس) بمساعدة انزيم (ديزيدروجيناز غلوتاميك) يستعين بـ DPN كمساعد انزيمي . وتؤدي عملية نقل الامين فيما بعد الى توليد حامض اسبارتيك وحوامض امينية اخرى . ولكن اولى التثبيت البيولوجي للازوت الجزئي الموجود في الفضاء ما تزال مجهولة بشكل واسع رغم الاعمال الجميلة التي قام بها الاميريكي پ . و . ولسن باستخدام ^{15}N .

نذكر حالة التثبيت الضوئي في البكتيريا المولدة للضوء وفقاً لنظرية ارنون ، وبالتالي انتاج NH_3 . اما عقد القطائيات فتحتوي على صيغ أولملون هو الهيموغلوبين (هـ . كوبو ، 1937) الذي نجعل علاقته مع تثبيت الازوت الجزئي . فضلاً عن ذلك اثبتت اعمال مختلفة ، حول النباتات العليا (وخاصة في الشب) ، ظاهرة التثبيت التحالفي التكافلي ، وهناك احتمال - خلافاً للانكار القديمة - بان هذه الظاهرة عامة جداً وبالتالي مهمة جداً .

الفصل الثامن

علم النبات

I - المورفولوجيا العامة أو علم التشكل

تكون النباتات الوعائية - ابتداء من سنة 1880 اعطى تلميذ هوفمستر وج . ساكس Sachs ، ك . أ . ر . فون غوبل Von Gobel دفعة قوية للمورفولوجيا النباتية ، ولعلم الاعضاء (اورغانو غرافيا در غلاتزن ، 1898 ، طبعة ثالثة ، 1928) . لقد تمسك غوبل بالطريقة الموضوعية والتجريبية ، وركز على نشوء الفرد ، وعلى العلاقة بين الشكل والوظيفة ؛ وكان في اساس الفكرة العلمية الحديثة حول النباتات ، وكان هذا العصر هو الحقبة حيث ازدهرت في اميركا مدرسة أ . ك . جيفري ، وفي فرنسا مدرسة ف . فان تاينغ Van Tieghem ، وحيث ولدت في بلجيكا مدرسة أ . غرافيس Gravis . لا شك ان فان تاينغ ينتمي إلى القرن التاسع عشر اكثر من انتمائه الى القرن العشرين ولكن تأثيره لم ينفك يبرز . وينظر فيه حول الأنوب (ستيل) (وهو قصبه مركزية في محور نباتي مثل الغصن أو الجذر محدود بالغشاء الخارجي أو اللحاء (بريسيكل)) ، هذه النظرية التي طورها جيفري الذي قدم فرضية مفيدة حول التطور التيبولوجي [علم النماذج الشخصية] في الطبقة اللحاءية ، فقد اثار فان تاينغ حركة خصبة جداً . فهيرري ان النبتة الوعائية تتألف من ثلاث فئات من الاعضاء هي الجذر الجذع والورقة ، والستيل في حالة تناظر اشعاعي ، والورقة متناظرة بالنسبة الى سطح . والاعضاء التناسلية ليست الا اجزاء نباتية متحولة . وهذه النظرية التي تعبر عن اهتمام بالغ الوضوح ، بدت فيما بعد جامدة يابسة جداً . فضلاً عن ذلك لم تكن المعارف حول علم الاجنة في ذلك العصر لتتيح ، الا قليلاً ، استخدام بنية وعمل الانسجة الانشائية استخداماً نافعاً .

ان الفرضيات الكثيرة الموضوعة من اجل توضيح تكوين النباتات الوعائية يمكن ان توزع الى عدة تيارات . فالبعض يرى ان الانبات الورقي في باديات الزهر هو بنية تركيبية .

وقد دعم غوته Goethe ثم غوديشو Gaudichaud (1841) وشيلاكوفسكي Celakovsky ، 1901 هذه الفكرة . يرى غوديشو ان القطع أو الفيتون ، ورقة وقسم من الجذع ، هي التي تشكل الانبات . وكذلك تشكل النبتة برأي ج . شوفود (1911) مستعمرة من الافراد الاولى أو فيلوريز . وهناك باحثون آخرون يزعمون ان القسم المحوري ينتج عن ظاهرة ثانوية هي ذوبان الركائز الورقية .

ويتعارض مع هذا المفهوم الذي قال به دليينوسنة 1883 ود . ه . كامبل Campbell مفهوم أ . لينيه المسمى « الميريت » وهو مفهوم يتصل تماماً بمفهوم الجذع المحيط (ه . بوتونييه Potonié) .

الجذع هو محور عامودي ، انه نظام من المحاور المكبرة من ما اخذت من الميريت أو اجزاء الجذع [وهي محاور جانبية مخصصة لتكون أوراقاً] ؛ على هذا يتركز المتمسكون بالنظرية الورقية ومفادها ان الورقة ليست الا نتيجة تطور معمم جداً أصاب الجذع الاساسي فقصره واختصره . وترتبط اعمال باور Bower (1908 - 1935) بهذا التيار ، حول النباتات الوعائية الاولية ، وكذلك اعمال أ . ج . تانسلي Tansley (1907) وأعمال و . زيمرمان (1930) ، الذي وضع نظرية « تيلوم تيوري » .

وقد استعان المؤلفون المصريون كثيراً بنظرية التيلوم ، ولكن افكار ج . شوفو قد دعمت بقوة في فرنسا وما تزال تحتفظ بمدافعين عنها . وهناك موقف مختلف ينطلق من هومستر ، وقد تمسك به ساندرس سنة 1922 ومفاده ان البنية هي بنية محورية اخذت من غطاء الركائز الورقية .

ولا يبدو ان النظريات النباتية (الفيتونية) المقررة على اساس الشكل ، والتشريح والتوالد الفردي المقارنة ، يمكن ان تتوافق بسهولة مع المعطيات القديمة حول علم النبات . وبالمقابل فان النظريات الكاملة (تيلوميك) ، المؤسسة في معظمها على المعطيات القديمة ، نزعت للارتقاء الى مستوى المعنى العام .

والنظريات الاولى والثانية تركز على وحدة البنية الورقية ، مخالفة بذلك التصنيف الفثوي المبالغ والمفرط لاعضاء البنية . وهي رغم ذلك تبقى في حالة تأملات نظرية شكلية إلى حد بعيد . بالنسبة إلى ساكس (1875) تنطبق كلمة جذع وكلمة ورقة « على نوع من العلاقات بين اقسام كل تشكله البنية » . وهذا المفهوم قد طوره بقوة أنيس أرب (1930, 1950) ، الذي يرى ان الورقة (وحتى الجذر) ليس الا بنية جزئية . الواقع اذا كان مفهوم البنية هو اكثر ارضاء من مفاهيم الجذر والورقة ، فان اعمال توليد الشكل التجريبية لم تنجح في تحويل « البنية الجزئية » إلى « بنية كاملة » (وردلو Wardlaw, 1949) .

وهناك مظهر مفيد من مظاهر علم الشكل أو المورفولوجيا ، قائم في مجال مجاور ، وهو النظر إلى تتالي الاجيال ، في علاقاتها مع تطور المملكة النباتية ، وخاصة الانتقال من الحياة المائية الى الحياة الارضية .

ان نظرية باور التناقضية ، التي سبق ورسمها شيلاكوفسكي (1874) ، تركز على فكرة ان البنية اللاجنسية كما في الطحالب تشكل جيلا وسطاً بين جيلين من النباتات الجنسية . وفي الاشكال الدنيا تبدو البنية اللاجنسية مؤلفة بالكامل من نسيج يولد الخلايا اللاجنسية (سبوروجين) ، وهذا النسيج يعطي - بعد العمق المتصاعد وبعد التخصص - البنية اللاجنسية في النباتات العليا .

في الحقبة التي اعلنت فيها هذه النظرية (1890, 1908) ، لم يكن التناوب او التتالي قد اثبت

بعد ، لدى الطحالب : فقد بدت النباتات الإشنية أو الطحلبية تمثل مرتبة وسيطة بين الطحالب وبين النباتات العليا . وناهض أ . ج . إيمس هذا المفهوم (1936) ، ثم عاد الى افكار برنغشم ، فانحاز الى النظرية النظرية (شيلاكوفسكي) التي انضم اليها معظم المتخصصين المعاصرين . ان التناوب التشاكلي (نبات لاجنسي ، ونبات جنسي متشابهان ظاهرياً) ، الشائع في الطحالب ، هو في اساس مختلف الانماط المعثور عليها ؛ وهذا التناوب التشاكلي مشتق من دورة اجادية الصبغة بصورة كاملة وذلك بعد الغاء الانقسام التناصفي في فترة التثني في اللاحقة .

وانطلاقاً من مفهوم الهيئة التباينية في الهدب ، هيئة الطحالب ذات الخيوط المنهكة جزئياً ، والأخرى المنتصبة ، بين فرتش (1939، 1945) ، ببراعة متناهية ، كيف يمكن ان تصور التكيف التدريجي الحاصل في بعض الطحالب الخضراء ، من اجل مواجهة الحياة الارضية ، بعد خسارتها لهيئتها الانهاكية . ان الطحالب تشكل الفرع الوحيد من النباتات ذات العضو الأنثوي التحويفي الذي احتفظ بالهيئة المختلفة الهدب (نبت ذو جهاز تناسلي ، ورقة منتصبة انما باهداب متدللة منهكة) .

مورفولوجيا النمو والتطور . انتظام الاوراق . نظرية الزهرة . ان النظريات التي سبق ذكرها تناول مسألة العلاقات بين الورقة والجذع في النباتات ذات الجذع ، كما تعنى بالعلاقات بين « الإنبائي » وبين « التناسلي » ، من زاوية التطور أو ، بصورة أبسط من زاوية التخليق الفردي . وعلى موازاة الخط ، وان بصورة متقطعة ، جرى الاهتمام بانتظام الاوراق ؛ ان اعمال فان ايترسون (1907) ، وشورش (1913، 1904) ، وأرسي تومسون (1942) ، وبلانتيفول (1946، 1947) ، وريشاردس (1948) ، ترسم هذا التيار . وتمت انجازات كبيرة في هذا المجال ، فلم يعد من المقبول ، بشكل عام ان يكون الحلزون الشهير المولد ، ليعتبر الاكسوط وهمي خيالي ، او تعبير هندسي عن العمل المنتظم الذي يقوم به النسيج الانشائي ، دون ان يكون له بذاته اية طاقة مبيبة . ان المدرسة الفرنسية ، برئاسة ل . بلانتيفول Plantefol خاصة ، قد جهلت في اثبات حقيقة المراحل المتعددة الناتجة عن عمل المراكز المولدة للأوراق ، والموجودة في الرؤوس الجنينية . والحقيقة بهذا الشأن ، يجب ان يبحث عنها عند مستوى الانسجة الانشائية أو التخلقية ، والبحوث في هذا المجال هي التي جددت ، من حيث كثرة عددها وما تدلي به ، هذا المستوى .

هناك كتابان وجهما الفكر المعاصر ، كتاب أ . شميدت (1924) ، وكتاب م . و . سنو Snow (منذ 1931) .

لقد أعطى شميدت الانطلاقة « للدراسات النسيجية حول النقطة النباتية في باديات الزهر » (1924) . ان نظرية « تونيكا - كربوس » [الجسم الغلافي أو الغشائي] التي قال بها شميدت ، والتي سبق وعرضها ل . كوش (1891) ، ثم دعمها ج . بودر (1928) ، وأ . س . فوستر (1939-1941) . والتي حلت محل مفاهيم ناجيلي وهانستين - ، تعطي صورة مرتبة نوعاً ما للنقطة الانبائية بحيث تنطبق على معظم الحالات . هذا العضو يتكون من منطقتين غير واضحتي المعالم ، ومتنوعتين : المنطقة الاولى كثيفة وهي الجسم ، وفيه تنقسم الخلايا بدون نظام ، والمنطقة الثانية

غشائية غلافية وتتألف من قواعد منتظمة هي التونيكا أو الغلاف أو النشاء أو الإهاب .

ان نظرية تونيكا - كربوس أو الجسم الغشائي السهلة كانت وتبقى اداة جيدة للوصف . واستخرجت مفاهيم جديدة على اثر الاعمال التي قام بها ج . پ . ماجومدار Majumdar (1942) ، وو . ر . فيليسون (1946) ، ول . بلاتيفول ور . بوايه Buvat (1947-1955) ؛ وبذل جهد من أجل توضيح عمل النقط الإنبائية ، في علاقاتها بتشكيل الأزهار، والنورات من جهة، وبناء محدد تماماً، لسلك انتظام الأوراق من جهة أخرى .

وحول هذه النقطة الأخيرة طرحت فرضيات عدة ؛ وقد قدم الكثير من التوضيحات . وقد لقي اثنان من هذه التوضيحات قبولاً حسناً ؛ الاول « نظرية الدفع » أو النبذ ، والتي قدمها ج . هـ . برستلي ول . ي . سكوت (1933) ، وكذلك ت . شموكر ، وحديثاً دافع عنها ريشارمن (1948) ، ونظرية « الفضاء القريب المستعمل » التي قال بها آل سنو .

في الحالة الاولى ينطلق الاساس الورقي بعيداً جداً وما امكن عن كل السابقات الورقية الموجودة ، ويعيداً عن ذروة الذروة : في المكان الذي يكون فيه الصد (المحدث بسبب معطل للنمو) تحت القيمة الحدية ، عندها يتهيأ بداء جديد . تنطلق نظرية آل سنو Snow التي دافع عنها وردلو سنة 1949 ، من ثابان ايترسون وتقول بان البداء تنطلق من مكان قريب من الذروة منذ ان يصبح المكان الادنى الصالح للاستخدام جاهزاً .

وندين لال سنو بانهم فتحوا باحكام مذهش الفصل الاساسي في علم انتظام الاوراق التجريبي .

ونظرية اللولب المولد تنطلق من « فلسفة الطيعة » ومن افكار غوتا . وبفضل غوتا ايضاً ، ارتسمت النظرية الكلاسيكية حول الزهرة ، والتي اعطتها اسسها العلمية اعمال ثابان تيغم (1871) ، واعمال تروول (1928-1939) ، واعمال ايمس Eames (1931-1951) . ان اللولب المولد يمتد في الزهرة الى ان يصل إلى اعضاء الذكورة السداة والى الخباء أو اعضاء التانيث الحاملة للبويضات ؛ وتمثل السداة والخباء اوراقاً زهرية ، تولد السبورات أو « السبوروفيل » (أي التولد البوغي والاوراق البوغية) . وهذه النظرية ، التي لا تزال مقبولة من معظم علماء النبات لقيت معارضة قاطعة من قبل كثير من المؤلفين (ج . مكلين طومسون ، 1923-1944 ؛ ف . غريغوار ، 1931-1938 ؛ ل . بلاتيفول ، 1949) .

وتحليل النسيج الانشائي الزهري وتوالده او تخلفه قد اثار العديد من التاويلات : ان تحول النسيج النباتي ، الذي وصف ورصد كثيراً ، قد رفض لصالح نظرية تدخل قسماً خاصاً ، كان في الماضي غير ناشط ، من النقطة الانبائية ؛ بمعنى ان تكون للأقسام الاساسية من الزهرة صفة ذاتية التوالد ، وتنسج عن نشاط نسيجي سابق الوجود ومحدد (بلاتيفول ، بوفاه) . وقد اوضحت المعطيات المأخوذة من التوارث الشكلي التجريبي ، ومن علم النبات القديم، مسألة القيمة الشكلانية للزهرة . وقد اثار تياراً وحدوي ارتسم منذ القرن التاسع عشر موجه من التقريب بين الطروحات القائمة . ويبدو ان البحوث المقبلة سوف تعنى بتحليل الزهرة في كاسيات البزر

باعتبارها « نبتة » إنباتية متحولة نوعياً (تحت تأثير بعض المواد) -

علم النبات القديم - ان البحوث حول علم النبات القديم التي استمرت منذ نصف قرن قد اقلت ضوءاً ساطعاً على تطور المملكة الحيوانية منذ الحقبة الاساسية ، حقبة البكتيريا والاشنيات ، حقبة الوسط المائي ، والتي تقع في العصر قبل الكمبري ، اي منذ ما يقارب مليارين من السنين .

هذه البحوث - الدراسات التي قام بها أ . و . بري (1916) ، ك . ل . رايبندوم . أ . ج . شندلر (1933) ، حول النباتات الايوسينية [اي من العصر الايوسيني] ، ألخ . قد كشفت عن الواجه البيئية والجغرافية في تحليل النباتات المندثرة ، مع التأكيد على قيمتها الطبقاتية (اعمال غراند اوري حول الفحميات) . وهذا التحليل قد جدد فضلاً عن ذلك بعض المفاهيم المهمة (اعمال ر . فلورين حول الجباليات) وحدد انجازات محسوسة حول مفاهيمنا لاصل الانماط الكبرى البيئية وحول المراحل الرئيسية للتفارق والتكيف .

ان نباتات العصر الديفوني كانت موضوع استكشاف ناشط فقدمت المعطيات الاكثر دواً .

لقد قرر الانكليزيان ف . و . اوليشرود . ه . سكوت سنة 1903 انه منذ العصر الديفوني الاوسط وجدت انواع من « الخنثار أو المرخصيات ذات البزور » ، ونباتات بزرية او نباتات وعائية ذات بزور تمثلها في أيامنا عاريات البزور وكاسيات البزور . وقد بينا ان بعض البزور المتحجرة تتأتى عن مثل هذه النباتات المسماة البذريرات المجنحة ، وقد وصفت منها أنماط منذ ذلك الحين .

ومن جهتهما قام ر . كيدستون Kidston و . ه . لانغ Lang باستكشاف المهاد الديفوني في رينبا في اسكتلندا واوجدا طبقة النباتات الجرداء ، مضيفين الى النبات الأجرد (بيلوفيتون) ، الذي وصفه دوسون Dawson سنة 1899 ثلاثة أصناف جديدة هي : رينيه ، هورنيه (او هورينو فيتون) واستيرو غزيلون ، والاولان منها ليس لهما لا جذور ولا اوراق بل لهما عناصر وعائية فقط .

والمعتقد اليوم ان النباتات الجرداء لم تكن النباتات الوعائية الاولى . فهناك نباتات من هذا النمط ، الحقت برتبة نباتات ارجل الذئب (ليكوبوديال) ، قد اكتشفت في العصر السيلوري الاوسط في استراليا (لانغ وي . ك . كوكسون ، 1935) ، ثم في الكمبري الاوسط شرقي سيبيريا (كريشتوفوفيش ، 1953) . وكذلك وصفت غبيرات أوبوغات من العصر الكمبري الاسفل والاوسط من قبل س . ن . نوموفا . وهذه الوقائع تؤكد وتثبت اعمال المتخصصين في علم الغبيرات (الطلع) ، وقد اعطى هؤلاء العلماء لنباتات العصر الكمبري ، والعصر السيلوري والعصر الديفوني الاسفل ، تنوعاً اكبر بكثير مما كان يتصور حتى ذلك الحين . وهناك اكتشافات اخرى تستحق الذكر . فقد قدم ج . ر . ويلاند نشرات مذهشة حول صفيف من عاريات البزور من العصر الطباشيري الاسفل ، والعصر الويلديني في الولايات المتحدة (1906-1916) حيث تم وصف ازاهير كاملة موقعها فوق جذوع « السيكادوديا » وهي نبتة من نمط عاريات البزور تبشر بشكل واضح بكاسيات البزور . وكذلك وصف ه . طوماس (1925) ، مجموعة من النباتات الجوراسية ، فذكر بكاسيات البزور .

ومنذ خمس عشرة سنة عثر على مكتشفات متنوعة يطرح بعضها مسائل جديدة منها خماسية الخشب من العصر الجوارسي في الهند (ب. ساهني، 1948)؛ فوجنوفسكيال، وهي نباتات ذات بذور فريدة جداً من العصر البرمي في سيبيريا (م. ف. نوبرغ، 1955)؛ نباتات نباتية ربما كانت بدون ساق ولا جذر، من العصر ما قبل الكامبري في أونتاريو، وعمرها 1700 مليون سنة (س. أ. تيلر وأ. س. بارغهورن، 1954)، الخ. ويمكن التساؤل هل ان علم النبات القديم الذي احتفظ بكل قيمته في مطلع القرن العشرين، وهذا ما يدل عليه نشر سلسلة من الموسوعات الكبرى (أ. ك. سيوارد، 1898-1919؛ د. د. ه. سكوت، 1920-1923؛ م. هرمر 1927)، سوف يستعيد الوقع، والايمان الحماسي اللذين كانا له، وقد فقدهما لبرهة خشية في غير محلها: فالتائج الحاصلة منذ الحرب العالمية الأخيرة تدل على ان هذا العلم القديم قد نهض نهضة باهرة.

علم الغييرات - انه علم ناشئ، لم يأخذ اسمه الا حديثاً (أ. هايد، 1944)؛ ان الباليولوجيا أو علم البوغات والغييرات قد تطور بسرعة. فقد تمثل بشعبة مستقلة في المؤتمر الدولي لعلم النبات سنة 1954، واصبح يمتلك مجلتي دوريتين متخصصتين هما: (غرانا باليولوجيكا، ستوكهولم؛ وپولين وسپور، باريس). والمجموعة المتكونة في السويد لا تحثوي على اقل من 20 ألف نوع.

ومنذ نهاية القرن التاسع عشر، بينت اعمال ه. فيشر الاهمية المورفولوجية اي الشكلانية للبوغات (پولن). و اوجدت اعمال ج. لاجرهيم ثم ل. فون پوست 1916، الطريقة الاحصائية للتحليل البوغي «في الخث». وهكذا تم تحديد اتجاهين كبيرين من البحوث، الاتجاه الاول هدف الى التصنيف التشويئي النوعي، وهدف الثاني الى الجيولوجيا. وكان للمنحى الاول ضخامة كبيرة على اثر اعمال الاميريكي ر. ب. ودهاوس (1935) والسويدي ج. أرتمان (1943-1952). وهكذا قدم علم الغييرات أو الباليولوجيا أحد أفضل الأسس في تصنيف نباتات الرانال الخيطية، باعتبارها مجموعة أولية من كاسيات البزور (ودهاوس Wodehouse).

في الوقت الحاضر نشط هذا المجال العلمي نشاطاً كبيراً بفضل البحوث التطبيقية، وخاصة الاستكشاف البترولي ولكن علم الغييرات أو الباليولوجيا يعنى بحقل من البحوث واسع جداً وخاصة الطب (الحساسية، رشح القش، والربو) والزراعة (البيولوجيا الزهرية والنحالة).

علم الاخشاب والتشريح - كما هو الحال في الباليولوجيا عرف علم الاخشاب أو غزيلولوجيا، إذا اخذ بمعناه الضيق كدراسة بنية الخشب، تطورين متميزين، الاول في خدمة النشوء النوعي أو التاريخي العرقي، والتطور الاخر كطريقة مساعدة في مجال الجيولوجيا التطبيقية، وقد وضع ي. و. بيلي من جامعة هارفرد المبادئ الكبرى لهذا العلم.

وعلى اثر استقصاء واسع تناول مجمل النباتات الوعائية المتحجرة والحية بين بيلي وو. و.

تروبر ، سنة 1918 ، وجود ترابط بين قصر الخلايا الجزورية المغزلية الشكل ، والعناصر الخيطية التي تنتجها من جهة ، وبين التخصص التطوري من جهة أخرى . وقد تحكم هذا القانون البسيط والأنيق بالبحوث الكلاسيكية التي قام بها هـ . فروست (1930) حول اصل وتطور الاوعية داخل الخشب الثانوي ، ثم اعمال د . أ . كريس حول النسيج الانشائي ، واعمال بارغهورن الخ . ومن جهته درس ف . ي . شيدل البنية الوعائية في وحيدات الفلقة (1940-1944) ، واصبح تطور الانظمة الوعائية اداة ثمينة بين يدي علماء النشوء النوعي .

والى علماء النبات يعود الفضل في الدعم الامتن الذي قدم حول بعض المفاهيم المهمة : الصفة الاولى للنباتات الخيطية بالنسبة الى الاعشاب ، غياب الروابط النشوية المباشرة بين وحيدات الفلقة وثنائيات الفلقة ، وبين كاسيات البزور وعاريات البزور الخ . والنتائج الحاصلة حول تشريح الاقسام النباتية في كاسيات البزور منذ موسعة هـ . سوليدير (1908) ، قد جمعت ونسقت في نشرة ضخمة للغاية (ك . ر . ميتكالف ول . شالك Chalk ، 1950 ، 1960) .

ان قشرة الاشجار وخاصة اللحاء الثانوي وكذلك اللحاء الأولي ، وهما قسمان يحتويان على الانابيب المثقبة ويلعبان دوراً اساسياً في الجر العامودي للنسج المصنع ، قد تلقت اهتماماً خاصاً ميزته (1933-1948) اعمال مس . أ . ايزو التي اهتمت بالروابط بين البنية والوظيفية . وادخل أ . س . كرافت فكرة مجموعة السمات الخاصة ، بين الانابيب المثقبة في النباتات البزيرة أو الزهرية وبين بعض انسجة النباتات غير الوعائية مثل (الطحالب والاشنيات السمرات) (1934، 1951) وهو مفهوم جرّ وراءه مفهوم « الاولانية أو البدائية » في اللحاء بالنسبة الى الخشب .

علم الاجنة - انه علم الجنين وتطور البيضة . ويهتم علم الاجنة النباتي بكل المناطق الجنينية (البراعم والقلب في النباتات الخيطية) . من هنا سلسلتان متوازيتان من البحوث : علم الاجنة فيما يتعلق بالبيضة وعلم الاجنة فيما يتعلق بالنقط الإنباتية وهو علم سبق ذكره .

وفي بداية القرن ، ورغم الاعمال الجميلة التي قام بها ج . هانستين سنة 1870 ، م . تروب ، ل . غينارد ، د . هـ . كامبل (1897، 1905) ، كان علم الاجنة يبحث عن طريقه . وكانت الوقائع الكبرى البدائية قد اكتشفت (ومنها المزدوج ، 1898-1899) ودخلت تقنيات علم الانسجة الحديث القائم على الشرائح التسلسلية وعلى التلوين ، مجال التطبيق . ابتداء من سنة 1910 ، قام ر . سويج Souèges بدراسة الجنين عند كاسيات البزور . وفي نصف قرن من العمل العنيد ، ضمن شروط صعبة ، نجاح لا مبالاة شبه عامة ، فقد تتبع هذا العالم ، لدى اكثر من 150 نوع ، التوالد الخلوي انطلاقاً من البيضة حتى الجنين البالغ ، واعلن عن قوانين تعلق « البلاستومير » (1937) وعن نظام تصنيف للانماط الجنينية التخلفية (1939) . ومنذ 1920 طوّج ت . بوشواتر علم الاجنة لدى عاريات البزور . وحوالي سنة 1930 بررت اهمية النتائج الحاصلة نشر موسوعة حول علم الاجنة لدى النباتات الزهرية (ك . شنارف Schnarf ، 1929-1933) .

ان مؤلفات د . آ . جوهانسن (1950) ، پ . ماهشوازي (1954) ، ك . و . واردلو (1952) ، (1960) تدل على الاهتمام المنصب في الوقت الحاضر على هذا الحقل من البحث . والمسائل

الجديدة المرتبطة بتقدم الفيزيولوجيا (حفظ البوغ ، التبرعم ، تعدد الاجنة ، التوالد العذري ، الخ) وادخال التقنيات التجريبية (زراعة الاجنة المستأصلة) قد ساهمت في احياء البحوث .

علم الوراثة الخلوي - اعطت سنة 1900 ، التي شهدت الولادة المتفجرة لعلم الوراثة ، دفعة قوية لعلم الخلايا ، كما اعطت ايضاً اتجاهاً خصوصياً وتضييقياً ، لدراسة النواة . وبالفعل ، ومنذ 1903 ، تم ادراك الرابط بين الكروموسوم (الملونات ، الصبغيات) وبين الانتقال المنديلي للسمات (اعمال مدرسة أ . ب . ويلسون ، وو . سوتون) . ان علم الكاربيولوجيا او علم طبيعة الصبغيات قد عرف بعد ذلك انتشاراً واسعاً ، كما عرف به اساتذة امثال ف . أ . جانسنس ، ف . غريغوار ، ب . مارتنس في بلجيكا ، أ . هيتز في ألمانيا ، ك . د . دارلغنتون في انكلترا . واخذ علم السيولوجيا عن الوراثة ، فتحولت بشكل حصري إلى علم الكاربيولوجيا او علم البحث في طبيعة الصبغيات ثم الضياع اخيراً ، وفي قسم كبير منه ، في علم الوراثة الذي برز تحت اسم علم الوراثة الخلوي (سيتوجنتيك)⁽¹⁾ . واستخرج هذا العلم الاسس المادية للنظرية الصبغية في الوراثة مثل : دراسة البنية ، والفيزيولوجيا ، وانقسام الصبغيات . ومع علم الوراثة ، اعاد بناء الداروينية ، واسس المنهجية البيولوجية . وبصورة اكثر تواضعاً ساعد الى حد كبير وما يزال يساعد علم التصنيف التقليدي .

ان احد مظاهر الكاربيولوجيا او علم الصبغيات النباتية كان دراسة بعض تحولات مجمل الصبغيات ، في « غاميت » ، تحولات مسماة تعدد الصبغيات وشذوذية الصبغيات (ج . تاكهولم ، 1922) . ومنذ الارصاد الاولى التي قام بها أ . م . لوتز سنة 1907 و ر . ر . غاتز سنة 1909 ، وخاصة بعد ان اكتشف البلجيكي أ . ب . دوستين ومساعدوه ، سنة 1934 و 1937 مفاعيل الكولشيمين ، أصبح تعدد الصبغيات موضوع دراسات خصة للغاية . فهذه القلويات المستخرجة من الكولشيكوم او تومنال اتاحت تجميد الانقسام غير المباشر ، في المرحلة الثانية من مراحل انتقال الخلية ، ومن ثم الحصول على اعادة تكوين النواة مع عدد مزدوج من الصبغيات . وسرعان ما امتدت البحوث داخل المملكة النباتية (أ . ف . بلاكسلي ومدرسته ، أ . ت . أفيري ، ب . غافودان ، ج . مانجينوت ، م . سيمونت) .

ان تكاثر الصبغيات الذي يحصل على اثر بعض الاحداث التي تصيب التناصف أو الانقسام غير المباشر يلعب دوراً رئيسياً في التطور : وسنداً لبعض المؤلفين هناك ثلاثون في المئة على الاقل من الانواع المتعددة الصبغيات داخل كاسيات البزور . ودلت امثلة كلاسيكية كثيرة على ما يمكن ان يشكله دور تعدد الصبغيات في تخليف الانواع ، كوسيلة للعزل الجنسي ولتثبيت الفرد المهجن ؛ ومن بين الدراسات الاكثر جدة دراسة ه . كيهارا (1954) حول « اجيلوس » المنطقة المتوسطة ، وهو نوع متعدد الصبغيات يغطي مساحة واسعة جداً في وسطها يوجد الوالدان ثنائيا الصبغات .

(1) نجد دراسة شاملة لتقدم علم الوراثة في الفصل الرابع من هذا القسم

علم الخلايا الكلاسيكي أو السيتولوجيا - على هامش الاستقصاءات الرائعة في مجال التوارث الخلوي ، تابع علم الخلايا الكلاسيكي طريقه بالاتصال الوثيق مع تطور التقنيات ، وهو تطور مصدوم أثار في بعض الأحيان تراجعات يؤسف لها . ومعظم المكونات الرئيسية للخلية النباتية هي السيتوبلازما أو البلازما الحشوية ، والنواة ثم البلازما ثم الميتوكوندريا أو الكونندريا . سام من جهة ، ثم الغشاوة والحوصلات ، والمضامين الشحمية من جهة أخرى ، هذه كلها قد رصدت في القرن التاسع عشر (لم تكشف الميتوكوندري النباتية إلا في سنة 1904 من قبل ف . ميفس) ؛ ولكن انطلاقاً من سنة 1910 - 1912 ، أخذت بحوث ج . لويتسكي وبحوث أ . غيليرموند تلقي ضوءاً كبيراً على السيتوبلازما وعناصرها المصورة . وبين سنة 1910 و 1930 نجحت بحوث ج . لويتسكي وأ . غيليرموند ، ج . مانجينوت ول . امبرجر و ب . أ . دانجاردي في وضع رسيمة أساسية للخلية الكلوروفيلية بواسطة الطريقة الكلاسيكية القائمة على المقطوعات بشكل سلسلة (موسوعة السيتولوجيا ، غيليرموند ، مانجينوت ول . بلاتيفول ، 1933) .

لن نعود إلى الانجازات الضخمة التي تحققت منذ 1940 في مجال التقنيات السيتولوجية⁽¹⁾ . هذه الثورة قد أحدثت قفزة في معارفنا ، وقدمت آراء جديدة أو ثبتت ووضحت بعض النظرات القديمة . وقد أيدت الدراسات الحديثة النظرية القديمة التي وضعها أ . ف . و . شمير وأ . ماير وبموجبها تشكل « البلازما » عناصر دائمة تنتقل بالانقسام ، هذه الأعضاء الصغيرة العدسية ذات القطر البالغ 4 إلى 6 ميكرون ، والتي عشر عليها في الخلايا الخضراء التي يبلغ عددها عدة عشرات ، تنفرد عن بلازما سابقة ينقلها السيتوبلازما الأمومي . فهل يمكن القول بهذا المجال أن البلازما والميتوكوندريا هما شبيهان في هذا الصدد ؟ إن الدراسة بواسطة المجهر الإلكتروني تؤيد الاستمرارية الوراثية في الميكونندريا (ف . ج . جوستراندي ، 1956) ، والبلازما (س . ستروغجر ، أ . س . پريز) ، وهي سلالات مختلفة من شأنها التحول ، ولكن موضوع التوالد الذاتي في الميتوكوندريا ، لا يبدو محسوماً بصورة نهائية .

إن بنية الكلورويلاست قد درست بالمجهر البصري من قبل أ . هينز (1932) ، فري - ولسنغ ، ستروغجر ، ب . دانجير Dangeard . إن تصور بنية حيوية وصفائية في الكلورويلاست ، التي وضعها هؤلاء العلماء ، قد تأكلت بالأرصاء المعجهرية الالكترونية (ه . ليون ، 1953 ؛ جوستراندي Sjöstrand ، الخ) . إن الكلورويلاست تتكون من قسمين (ملاحظة أوردها موهل منذ 1837 ، وانكرها غيليرموند) : مادة بروتينية أساسية ، الشروما ، تحوي شفرات متوازية ، مصفوفة وفقاً للمحور البلاستي الكبير ؛ وفي بعض الأماكن تشكل الشفرات المتماسكة والمتقاربة « الغرانوم » (ماير ، 1883) حيث يثبت الكلوروفيل وفقاً لرسيمة دقيقة .

إن الميتوكوندري هي أجسام ذات شكل وطول متنوعين تماماً ، بحيث قلما تتجاوز القطر 0.5 ميكرون ، كما أنها ذات بنية معقدة ، كشفت منذ 1952 (ج . أ . بالاد ، جوستراندي) . وهي ذات غشاءٍ اطرافي مزدوج متصل بقتنازع (حبيبات) أو أنابيب تدخل عميقاً في المادة الأساسية .

(1) انظر حول هذا الموضوع الفصل الأول والفترة الأولى من الفصل الثالث من هذا القسم .

والميتوكوندري كثيرة العدد ، وهي بحركة دائمة ، ونعرف منذ سنين انها مركز التنفس الخلوي ؛ ونشاطها التأكسدي ذو علاقة بتطور القنازع التي هي مركز العديد من الانزيمات .

وتوسع التحليل البنيوي للخلية بشكل مشهود . واستعادت مسائل قديمة مثل مسائل الارغاستوبلاسم (پرينان Prenant) ، واجسام غولجي (التي عثر عليها بوفاه في الخلية النباتية سنة 1958) والبنية الليفية للنواة ، مركزها الاول من حيث الحضور .

وقد اكتشف ان الغشاء النووي مزدوج وفيه مسام بعضها كبير بحيث يسمح بمرور الجزيئات الكبيرة . والورقة الخارجية (ج . د . د . واطسون ، 1955) على علاقة بشبكة من المجاري والحويصلات تقطع الحشوة الخلوية من غشاء الى غشاء ، وتجتاز الشبكة الحشوية الداخلية (ك . ر . پورتر وف . ل . كالمن ، 1952) التي تبين انها تتماهى مع الارغاستوبلاسم أو البلاسما النشطة (1953) . والغشاء الخلوي البلاسمي الخارجي (بلاسماليم) هو أيضاً ذو طبيعة مزدوجة والورقة الداخلية فيه هي استمرار للشبكة البلاسمية الداخلية (بالاد 1955 - 1956) . الى هذه الشبكة تتصل عموماً الجسيمات الريبية ، وهي جزيئات أوسميوفيلية من الريبونوكلياز التي تعتبر الفاعلات الرئيسية في تركيب البروتينات . هذه الفاعلات اذا عزلت بالدوران النبلي ، امكن استخدامها ضمن الشروط الملائمة من اجل تركيب البروتينات في المختبر . والبنيات المعروفة باسم ميكروزوم ، والتي بها ترتبط الريبوزوم لن تكون الا أجزاء مقتلعة من الشبكة .

هذه البنيات المكتشفة حديثاً هي دلالة على عالم كان متوقفاً منذ نهاية القرن التاسع عشر ، ولكن كان يظن انه غير قابل للمعرفة .

ومعارفنا حول بنية النواة والعلاقات الوظيفية بين هذه البنية قد تقدمت بصعوبة بالغة ، على الاقل على صعيد الملاحظة المباشرة . ومع ذلك فهي الجهاز الاكثر اهمية في الخلية ولكنه ضعيف ويصعب تقليبه لرهافته .

وفي سنة 1924 انجز ر . فولجن تفاعلاً خصوصياً بسيطاً وحساساً اتاح استكشاف مكونه الاساسي : وهو حامض ديزوكسي ريبونوكليك أو ADN . ويُن فولجن بمساعدة م . بهرنس Behrens (الذي نجح في عزل النواة سنة 1938) ان الـ ADN كان جسماً يميز النواة الخلوية ، بما فيها لدى النباتات (1937) . وتفاعل فولجن اتاح بشكل خاص اثبات وجود « بروتونواة » في البكتيريا (ك . أ . روبينو ، 1942 - 1945) . وحامض ريبونوكليك أو ARN ، الذي كان يبدو خاصاً بالبلاسما الخلوية قد اكتشف في النواة (ج . براشيه ، 1942) ، ولكنه لا يتكون فيها الا بكمية قليلة جداً . ونعرف اليوم ان النوى الصغيرة (نوكليل) ، وهي اجسام من 1 الى 3 ميكرون كقطر ، تجتمع الى النواة ولكنها مستقلة عنها (وقد امكن عزلها بواسطة البند المركزي ، أ . هيوز Hughes ، 1952) . كما تحتوي نسبة مهمة من الـ ARN . وتحتوي النواة أيضاً على دهون وعلى بروتينات ومكونات اخرى بكمية وافرة .

ان هذه البحوث ، المحكومة بالبيوكيمياء ، هي في تطور دائم . ومن الصواب الاعتقاد اننا

في عشية إحدى الثورات الكبرى في تاريخ البشرية . فقد ثبت ان الـ ADN يحتوي « على المعلومات » المقننة التي تسود تركيب الخلايا الكبرى المتخصصة . وهناك ترتيب بسيط هندسي لأربع وحدات من النوى الصغيرة في الـ ADN هي التي تحدد الخصوصيات أي الوراثة . ان الـ ARN يتدخل في تركيب البروتينات في الخلية ويؤمن نقل الامر من الـ ADN . وهذا في كل خلية .

دون ان يفردنا هذا إلى الدرجة النهائية في معرفة الاليات ، فان الدخول الى صميم البنية الخلوية ووظيفتها ، مهما بدا مؤثراً منذ خمس عشرة سنة ، فقد قوى كثيراً النظرية الخلوية .

II - علم النبات الأرضي والجغرافيا النباتية

1 - دراسات بيولوجية وزهورية . الاستكشاف

البحث الكلاسيكي - ان علم الازهار يتضمن ثلاث مراحل رئيسية : 1) الاستكشاف على الأرض ، ثم جمع المادة النباتية ؛ 2) تصنيف وحفظ المادة المجموعة ، ضمن نباتات كبيرة او ضمن المجموعات الحية في الجنائن النباتية ؛ 3) نشر النباتات ، الاقليمية أو القارية ، مع دراسات متخصصة حول الانواع والاصناف أو العائلات ؛ وكل الاعمال التي لا تنفصل تقريباً عن التصنيف النظري وعن الجغرافيا الاحيائية .

تحت هذه المظاهر الثلاثة تم انجاز عمل ضخم يغطي العالم ، ويتابع بوتيرة العلم المعاصر . ونكتشف كل يوم انواعاً جديدة واصنافاً جديدة واحياناً أسراً جديدة أو حتى مراتب جديدة (مثلاً عند عديمات الجذر والساق) .

وسنداً لبعض التقديرات يقدر عدد الانواع المعروفة بحوالي 350 ألفاً منها 20 ألف من ذوات الأزهار ، و 90 ألف فطر و 20 ألف اشنه و 7 آلاف بتيريدوفيت أي خفية الاعضاء التناسلية . وفي نصف قرن تقريباً تمت اكتشافات متناهية الاهمية نظرياً⁽¹⁾ . ولكن هناك عشرات الآلاف من الانواع ما تزال تنتظر الاكتشاف . وهناك اراض واسعة استوائية ما تزال غير معروفة جزئياً . وهضبة كاملة في مدغشقر لم تكتشف لأول مرة الا سنة 1950 (هـ . همبرت) ونجد ايضاً انواعاً غير معروفة في المناطق التي استكشفت افضل من غيرها ، في الولايات المتحدة . وهناك كثير من الاماكن ، ومن الاراضي ومن المياه العذبة ومن البحار لم تعط الاجزاء يسيراً من ثرواتها من الكائنات الحية ومن انواع الفطر خاصة .

منعطف في البحث - ولكن في هذا المجال من الاستكشاف النباتي ومن عالم النباتات ارتدئ القرن العشرين ، بصورة تدريجية أولاً ثم بسرعة كبيرة بخلال السنوات الأخيرة ، وجهاً

(1) مثال ذلك الاكتشافات التي تناولت انواع « ديجينيا » في جزر فيجي سنة 1934 ، واكتشاف كاسيات البزور الحية الأكثر بدائية ؛ واكتشاف « ستيليت » البيرد (1957) ، وهو نوع آخر معروف في حالة الحية ، من رتبة من النباتات هي (الايزوتال) (خفية الاعضاء التناسلية) موجودة بغزارة في الغابات الفصحمة .

جديداً تجب الإشارة الى اصالته . ان البعثات المشهودة في القرن التاسع عشر ، مثل الرحلات الفردية ، المقرونة احياناً بالتدخل العسكري في البلدان المجهولة ، انطلقت اما من الفضول واما من المصلحة الاستغلالية واما من الاهتمامات الانتفاعية واما من هذين العاملين ، ولكنها جميعاً كانت تنطلق من الواقع العملي ومن الارتجال . وكانت تسير مسار الريازات في عالم بعيد يبدوا منتهاي الثروات ابداً وعملياً .

وبعد ذلك تم استيعاب واقعة اساسية ومساوية : لقد اخذ الغطاء النباتي لكرتنا الارضية يتراجع بخطواته العملاقة ؛ وهكذا انطقت الى الابد كائنات حية ، ليس من المؤكد ان العلم ، ومستقبل الانسان بالذات يجب ان يتعلقا بها ذات يوم ؛ وهكذا تموت الى الابد التربة التي تنقش الى قشرة عقيمة او تذهب الى البحر تحملها المياه أو الرياح . فضلاً عن ذلك ان سيطرة حضارتنا وخاصة التقنية توشك ان تقضي على ما تبقى من حضارات يقال عنها انها بدائية وهي في الواقع انماط حياة كثيرة التعقيد وذات ثقافة عالية وثمره تجربة من الالف السنين تكيفت مع المكان ونحن ما نزال لا نعرف عنها الشيء الكثير . فمن الواجب اذا « انقاذ الطبيعة » : النبات والحيوان والتربة والحضارات . وهذا الوعي من قبل علماء الطبيعة وعلماء الأجناس قد ترجم خاصة بانشاء الاتحاد الدولي لحماية الطبيعة (U.I.P.N) (بروكسل 1947) ، والذي اصبح الاتحاد من اجل المحافظة على الطبيعة ومواردها U.I.C.N . وادى هذا الوعي الى نهضة علم طبيعة الارض ، باعتباره لاكتسالية بل كعلم اساسي بالنسبة الى البيولوجيا كما بالنسبة الى علم السلالات أو الاقتصاد ؛ انه علم اساسي معايير على نفس مستوى علم التربة وعلم البيئة وعلم الاعراق النباتية ، وهي مجالات علمية ولدت في هذا العصر وتحت ضغط من الاحداث ذاتها ، سواء كانت هذه الاحداث بشرية (مثل الحروب العالمية ، والتحرر من الاستعمار ، والصراع ضد الجوع ، وقيام دول مناوئة للراسمية . .) ، تقنية (النقل السريع والمريح) أو علمية (نجاح الداروينية ، وانتصار علم الوراثة) .

وهناك بلدان ، افضل من غيرهما قد سارا في هذه السبل الجديدة هما الاتحاد السوفياتي والولايات المتحدة . وهناك مجالان علميان جديدان هما علم السلالات النباتية والمنهجية الاحيائية ، يبرزان بشكل خاص هذا الاتجاه .

لثاقيلوف وتجدد علم النبات التطبيقي - في الاتحاد السوفياتي حيث يسود الاهتمام بربط النظرية بالتطبيق ، ارتدت البحوث من هذا النمط ، خاصة مع ن . أ . ثاقيلوف مساراً تطورياً لم يعرف في مكان آخر . ان العمل النظري والتطبيقي الذي قام به ثاقيلوف - وقد هوجم بشدة بالغية ، من قبل عالم آخر ذي شهرة كبيرة ، هوت . ليسينكو الذي ساهم ، بطرق اخرى في زيادة انتاج بلاده الزراعي - هو عمل ملحوظ جداً . فنحن مدينون لهذا العالم البيولوجي بمفاهيم ، ان لم تكن مبنية فهي على الاقل خصة الى اقصى حد هي : وجود مراكز منشأ ، أو مهدا لنباتات مغروسة ، ولا قاربها القريبة ، هناك حيث توجد اكبر تنوعية في النوع الواحد (1926-1934) ؛ وجود تنوعات متماثلة (1920) بين العائلات ، والانواع ، والاصناف أو المنوعات المتقاربة ، وهو مفهوم اتاح

التنبؤ والبحث عن التنوع ضمن بعض الجماهير من النباتات أو الحيوانات ؛ واعمال كلاسيكية حول جغرافيا المناعة (1919) .

ان عمل ثايلوف ومدرسته في معهد البوتانيك التطبيقي ، في لينتغراد (400 محطة تجريبية) يمثل الجهد الاروع المبذول من اجل المعرفة ومن اجل الافادة ، ومن اجل التحسين على اسس وراثية وايضاً من اجل حفظ الموارد النباتية على الارض . ونظم المعهد عدداً من البعثات ، خاصة بعثة القمح (1924 - 1933) التي جمعت كمية هائلة (31000 نوع خاص) من المواد المتنوعة ، وبعثة البطاطا (1925 - 1927) الى اميركا الجنوبية التي جمعت مادة لا تقدر بثمن ، اتخذت كاساس لبحوث كلاسيكية قام بها س . م . بوكاسوف (1932) .

وأصبح اليوم ادخال المزروعات الحية إلى الاتحاد السوفياتي ، وتأقلمها المحتمل شأناً من شؤون الدولة . وقد تطورت هذه المزروعات بشكل خاص على أثر الاعمال التي قام بها العالم الشهير والمربي الزراعي ي . ف . منشورين وأدت إلى نتائج عملية مهمة جداً (زراعة النباتات شبه المدارية ، مثل الأوكالبتوس والألوريت في مناطق البحر الأسود ، والفوقاس والقرم) وإلى وضع نظرية التأقلم (في . پ . ماليايف 1933 ؛ پ . آ . بارانوف ، الخ) .

البعثات الاميركية الكبرى - لقد تصرفت الولايات المتحدة ، وفقاً لاسلوبها ، كذلك ، والنتائج التي حصلت هي من الدرجة الاولى . وقد وضعت خطط ، متعلقة بشجرة الكينا (سينشونا) ، وبالبنج (نيكونيانا) والنباتات الكونشوكية ، وبدراسة الاوساط القطبية ، الخ . وفي كل مرة كان يتم استخدام وسائل ضخمة .

وشارك اثنا وعشرون عالماً مصنفاً شهيراً (و . ك . ستير ، ج . آ . ستيرمارك ، فوسبرغ ، ج . ايوان ، الخ) في اكتشاف نوع سينشونا (1942 - 1945) - يذكر ب . ماغوير (1958) Maguire . بهدف تحديد ومسح مساحات توزيع النوع ، وغزارة الجماعات ، وتدوين كل المعلومات ، وجمع المواد من اجل دراسة النوع والنباتات القريبة تماماً .

ومنذ القرن التاسع عشر اهتمت الولايات المتحدة بالمشاركة في العجود النباتي في العالم ، ثم تكوين مجموعات حية فيها . في سنة 1890 ، اصبحت وزارة الزراعة الاميركية ، الجهاز المسؤول عن ادخال المزروعات ، وحرصت على التعاون مع رجال امثال د . فيرشايلد Fairchild ، الذي كان احد اشهر المستكشفين للنباتات النافعة . وتتضمن مجموعة من أنواع القمح اثني عشر الف نمط ومجموعة الشعير تتضمن خمسة آلاف نمط .

علم السلالات النباتية (الاتوبوتانيك) - ان هذا العلم جديد ، فلم يُعرَف الا قليلاً . وهو يعالج علاقات الانسان الاول البدائي مع النباتات . ولكن « الأتو - بوتانيك » يفترد بأنه حشر فجأة ومرة واحدة مع العلوم التطبيقية . وهو ينشر بوتيرة متسارعة محاولاً ، ليس فقط فهم وانقاذ النادر من آثار العبقريّة الضخمة للمجتمعات الجدودية ، بل الإفادة منها أيضاً .

لقد تعلمنا منذ مدة من الزمن ، على محاربة تعفن الزبدة بواسطة مستحلب من النباتات

اسمه «لأزيا» يستعمله هنود [البحر] نيفادا . وكشفت لنا الشعوب القديمة في آسيا وأفريقيا ، وأميركا عن «راوولفيا سريتينا» وعن الايغنام (Ignames) ، وعن ستروفانتوس ، وعن الباهرة Agaves ، وعن لوفوفورا ، وعن سيلوسيب وغيرها من النباتات العلاجية الطيبة .

ان الاكتشاف العملي للمضادات الحيوية يبدو الفضل فيه إلى هنود أميركا الشمالية الذين كانوا يستعملون التراب والخشب المهترء لشفاء الجروح . ان فضائل الفطور في مكافحة الانتان كانت ، على كل حال ، معروفة منذ زمن بعيد من الصينيين .

إن علم السلالات النباتية (انتوبوتانيك) قد توضح فجأة بفضل الاعمال حول الپينسيليوم ، دون أن يسهم فيها ، وظهر عندئذ كطريقة أساسية في علم الصيدلة . وقد توجت المرحلة الثانية الذائعة الصيت باسناد جائزة نوبل في الطب إلى ت . رايششتاين Reichstein الذي نجح في تركيب الكورتيزون انطلاقاً من جبوب المتروفانتوس : ان البحوث حول الأجناس النباتية المقامة يومئذ قد أتاحت بشكل خاص العثور على نباتات تفوق المتروفانتوس كمصدر للكورتيزون (ايغنام مكسيكي) .

إن المساهمات الحديثة من جانب علم «الانوميكولوجي» (علم سلالات الفطريات) ، (ر . أ . شولتس Shultes ، 1938 ؛ ر . ج . وف . پ . واصون Wasson ، ر . هايم وفريقه ، 1953-1958) أدت إلى اكتشاف ثم إلى تركيب مواد جديدة (آ . هوفمان وفريقه ، 1958) يمكن استعمالها في علم الطب النفسي . هذا المجموع المدهش من البحوث قدورد في كتابين : فطريات ، روسيا والتاريخ » (آل واصون ، 1957) و « الفطريات التي تولد الهلوسة في المكسيك » (ر . هايم ، ور . ج . واصون وفريقه 1958) . هذان الكتابان يمثلان ، بمناسبة موضوع خاص ، علم السلالات النباتية ، باعتباره أيضاً كنظرية تفسيرية وكتوثيق علمي سلالي وعلم تطبيقي .

البويسستيماتيك (المنهجية الاحيائية) ودراسة النوع - ان علم نبات الارض ، المرتكز على مصطبة جغرافية ، قد ولدَ علماً آخر ما يزال قاصراً ، ولكنه يجتذب إليه أفضل المصنفين هو علم المنهجية الاحيائية (بيو - سيستماتيك) . هذا العلم ، المنسق تماماً في طرقه واهدافه ، قد ولد ، كما يدل اسمه ، باثلاث تيارين . كانت المنهجية الكلاسيكية تهدف في القرن الثامن عشر إلى وضع جودة الكائنات ، وإلى وضع نظام الوحدة التصنيفية (اصناف هـ . س . لام ، 1948) وتتناول بالتعريف ، الكائن « المتعدد والثابت » . وبخلال القرن التاسع عشر اصطدمت المنهجية الكلاسيكية بالبيولوجيا ، وهو علم جديد يهتم بكيفية الاشياء ويتجه نحو « الواحد » ونحو « الحركة » . هذا النزاع قد تقاف مع بدايات علم الوراثة ، التي زعزعت بشكل مشهود مفهوم النوع الليني [نسبة إلى ليني Linné] .

وفي النهاية تشرب علم المنهجية ، اكثر فأكثر ، بما قدعته البيولوجيا ، المستغنية بتقدمات علم الوراثة . هذا الاتصال تسبب بظهور علم المنهجية الاحيائية (بيو سيستماتيك) أو علم التصنيف الطبيعي ، الذي يختلف عن علم المنهجية الكلاسيكي بواقعة انه - وقد انشغل بتشكيل

الأصناف Taxons - قصر حقل دراسته على التعددية الشكلية وعلى التصنيف Spéciation ، وهو مجال كان من رواده آ . جوردان وج . بونيه (1900) . كان علم الوراثة قد اضطر إلى أن يتحول إلى علم تصنيف ، في حين أصبح علم التصنيف بذاته علماً تجريبياً .

إن تجارب بونيه حول ليونة الأنواع وحول الأشكال الثابتة ، غير الوراثة ، قد توبعت بدقة كبيرة في أميركا (ف . أ . كليمتس وهال ، د . ي . ماك دوغال) ، إلا أن أعمال ج . توريسون (1922-1931) وعلماء الوراثة هي التي رسمت الطرق الحديثة . ونحن مدينون لتوريسون بكلمتي « نمط نوع » « Ecotype » والأصناف البيئية Ecospécies . وعرف ي . و . غريغور ومدرسته « الايكوتيب » كجمهور متميز بسمات شكلية وفيزيولوجية ، ذات طبيعة كمية عموماً ، مُخاصبة مع أنماط نوعية أخرى (Ecotypes) و (Ecospécies) ، انما ممنوعة عملياً من تبادل الجينات بحرية ، من جراء قيام الحواجز البيئية ، أما الأصناف البيئية فهي الأنواع البدائية التي تؤلف نوعاً جماعياً يسمى « سينوسبي » Cénospécies . هذه الدراسات هي بالتالي في خط أعمال جوردان إنما مخصصة بمقدمات علم الوراثة وعلم البيئة .

وقام العديد من علماء الوراثة ومن علماء البيئة بلعب دور مهم في تثبيت هذا العلم ، ولكن هذا الأخير لم يتجسد إلا بعد نشر ، بين 1940 و 1950 ، بعض الكتب الرئيسية وضعها ج . كلوزن ، د . د . كيك وو . م . هيزي ؛ أ . ب . بابكوك ، ج . ل . ستينس . إن العمل الجماعي الذي قام به ج . هوكسلي « المنهجية الجديدة » (1940) ، قد ساعد كثيراً من أجل نهضة الفكر الجديد . وبعد عشر سنين بين كتاب ستينس الكبير « التغير والتطور في النباتات » (1950) ، والمحاولة الجميلة التي قام بها كلوزن « مراحل التطور في أنواع النباتات » (1951) ، على ضخامة الدارونية الحديثة وخصبها .

المستكشفون ، المعشبات ، النباتات - رغم كل شيء يجب أن لا تعطي هذه العلوم الحديثة المربطة بعلم نبات الأرض مكاناً في التاريخ لا تستحقه . لا شك أنها فتحت طرق المستقبل ، وانعشت علم النبات القديم ، ولكن ماذا يكون حالها ، لولا البنية التحتية المقامة بلا هوادة منذ تورنفور . واليوم أيضاً ، أنه من ناحية المعشبات والأعمال ذات العلاقة المباشرة بالاستكشاف وتناسي المجموعات ، تقاس أهمية تقدم العلم النباتي . فعلماء النبات والمصنفون ما زالوا حاضرين يشكلون الجيش الكبير .

إن تنوع الناس الذين خدموا [علم النبات] تجعل العلم هنا يأخذ سمة فريدة ؛ علماء متفوقون ، من أشال مزيل Merrill ، وماري - فكتوريون أو بيريه دي لا باثي Perrier de la Bâthie ، يتجاورون فيه مع شجعان من المسافرين ، أحياناً بدون معارف أمثال أ . بوالان ، أحد أكبر الجامعين للأغراس في كل الأزمنة . ونحن مدينون لبوالان Poilane بمعشبة من ثلاثين ألف رقم من النباتات (120000 صنف خاص أو أكثر) ، مواد أساس « نباتات الهند الصينية » للمؤلف هـ . لكونت وف . غانيان Gagnepain ، واكتشاف عدد كبير من النباتات المفيدة أو الرائعة . وبين مزيل وبوالان ، وهما نمطان فريدان ، تأخذ مكاناً لها سلسلة من الرجال المختلفين

في الممكن ، انما المشتركين بالايما و بالحماس للطبيعة .

ان نباتات القطب الشمالي ونباتات الولايات المتحدة ، ونباتات اميركا الوسطى والجنوبية ، وافريقيا الاستوائية ، وآسيا (ماليزيا ، جزر الباسيفيك ، الخ .) قد استكشفت بشكل خاص ودوت من قبل علماء النبات المستكشفين ، من أهل الكفاءة ، وعددهم كبير فلا يتسع المقام لذكرهم هنا .

هذا العمل على الارض ، أتاح بشكل ضخم زيادة المجموعات . وأكبر المعشبات في العالم المتعلقة بالنباتات الوعائية (كيو ، بريتش مكيزيوم ، معهد كوماروف في لينينغراد ، ميزيوم باريس) تعد اليوم خمسة ملايين نوع ، في كل منها ⁽¹⁾ . وأمكن اقامة جنائن فخمة عامة أو اقليمية في : فرنسا ، أوروبا الوسطى ، الاتحاد السوفياتي ، اميركا الشمالية ، البيرو ، افريقيا الغربية ، الاستوائية ، شاطئ العاج ، افريقيا الجنوبية ، سورينام ، نيوزيلندة ، الخ . والجنائن التي تقام اليوم تركز بأن واحد على المعارف القديمة وعلى دراسات جديدة ، ملاحقة بزخم من قبل العديد من المصنفين والنباتيين . ومنذ 1940 ، أقيم عدد كبير من الورش وبعضها أخذ يرى النور : البرازيل ، باناما ، افريقيا الشرقية الاستوائية ، الصحراء ، الكونغو البلجيكي سابقاً ، الخ . وهناك معشبان حديثان يمكن ذكرهما كممثلين خاصتين للعقيلة الجديدة ؛ معشبة كاليفورنيا (مونز Munz وكيك Keik ، 1959) ومعشبة ماليزيا (فان ستينيس Steenis ، منذ 1945) .

وُترجم الاستكشاف أيضاً بنشر مؤلفات خاصة ذات صفة تطبيقية مثل الكتب المخصصة للاشجار . وقد استخدم الاستكشاف أيضاً كأساس مباشر للعديد من المراجعات للبحوث الخاصة التي نشرت ، أما بشكل منفصل أو ضمن الموسوعات الكبرى أمثال أعمال آ . انغلر Engler وك . برانتل Prantl « فلانزنيخ » ، ناتورليشن فلانزنفاميليان « التي ساهم فيها العديد من النباتيين .

إن علم النباتات والتصنيف الدراسي الخاص ، وهما مجالان أساسيان مرتبطان رباطاً وثيقاً بالاستكشاف ، يتأرجحان جزئياً بين مجالين متجاورين ، الجغرافيا النباتية والتصنيف العام .

2 - الجغرافيا . علم البيئة

تتضمن جغرافيا النباتات فصلاً ضخماً موازياً لفصل التصنيف الكلاسيكي ، ويتناول تطور المملكة النباتية عبر الزمن ، والمعطى الجغرافي لا يتدخل الا كداعم . هذه الجغرافيا النباتية والتاريخية تعالج مسائل متعلقة بتوزيع الأنواع ، والأصناف والعائلات (اعمال المسح الجغرافي لنضائي « اريوغرافي » أو الإقليمي لج . هـ . فستر ، 1940 ؛ ل . هـ . موزل ، 1943 ؛ الخ) ، وبالنباتات المتحجرة (أ . و . بري Berry ، ر . و . شاني Chancy ، آ . ك . سيوارد ، د .

(1) ان معشبة برلين داهلن Berlin-Dahlen كانت تحتوي حوالى أربعة ملايين صنف قبل تدميرها بالقذائف سنة 1943 . ان مجموعات جامعة هارفارد وحيتف هي من هذا المستوى . وتأتي بعدها معشبات كلكتا ، واشنطن ، ونيويورك وغيرها وتحتوي على مليوني صنف .

ي . اكزلرود ، الخ) ويتخلق النباتات ؛ وترتكز طريقتهأ أساساً على دراسة معشبات ومستندات احاثية - جيولوجية .

وعند مستوى أرفع ، لا يعود المعطى الجغرافي ركيزة سلبية ، بل عاملاً في المخلق الحالي للنباتات ، جزءاً من معقد من العوامل ، بعضها داخلي في الكائن الحي (وراثي) ، والبعض الآخر خارجي (نظام خارجي) . وعند المستوى السببي والحالي ، لا يعتبر علم منهجية البيئة وعلم جغرافية البيئة الا مظهرين لعلم واحد .

إلى جانب هذا التيار التصنيفي تطور فرع عن الجغرافية لا يقل أهمية باعتبار علاقتها مع فيزيولوجيا النباتات ، وأوجهها ، وأساليب معيشتها ، وتكيفاتها . ولا يتعلق الأمر أبداً بالنباتات بل بالشماخ : انها الايكولوجيا أو علم البيئة ، ايكولوجيا الانواع والاعراق (انماط خارجية أي ecotype) أو مجموعات أنواع ، خاصة سوسيلوجيا المفروسات (فيتوسوسيلوجيا) . في كتاب رائع قام العالم الجغرافي بالنباتات الكندي ب . داتسيرو (1957) فميز بين مستويين آخرين من الدمج بين البيئة والجغرافية ، هما « البيئة - المناخ » والتصنيع . ان علم البيئة ، في كل من المجالين أو الحالتين ، يتناول علاقة النبتة باليئات (تكيف الانواع والاعراق ؛ النباتات كدالات على المناخ ، الخ) ، وبالانسان (تحول المنظر الطبيعي والشروط الطبيعية بفعل الانسان) .

التيارات في مطلع القرن - الروم ، في مطلع القرن ، هم الذين أعطوا علم الجغرافية النباتية انشط دفعة وأعمقها . فالاعمال الرئيسية للجغرافي العالم بالتربة ف . ف . دوكتشيف ، وم . ي . كورجنسكي ، وف . ي . فرنادسكي (الذي يعود الفضل إليه بمفاهيم الغلاف الحيوي والغلاف الانساني ، 1945) هي في أساس التطور الفخم لهذا العلم في الاتحاد السوفياتي .

ومن جهة أخرى تميز مطلع القرن بنشر معالجات كلاسيكية لـ أ . وارينغ (1895 - 1896) وآ . أ . و . شمپر (1898) ، اللذين لعبا دوراً رئيسياً في توجيه هذا العلم ، ومعالجات هـ . سولمس - لوباخ (1905) ، وب . غرايبر (1910) ، واعمال أ . درود (1913) . ان الاسماء العظيمة لامثال آ . انغلر ، ل . دبلس ، هـ . بروكمان - جيروش ، أ . روبل ، الخ ، جعلت يومئذ من الجغرافيا البيئية احد العلوم الاكثر بروزاً . سنة 1904 بدأ نشر موسوعة ج . كارستن وهـ . شنك : Vegetation bilder (26 مجلداً ، 1904 - 1944) .

منذ بداية القرن العشرين برز التوجه البيئي ، على يد ك . شروتر . وتم التوجه نحو تحليل الاوساط المعقدة التي يعتبر الزرع جزءاً منها : تركيب ، بنية ، تاريخ ، تطور .

برون - بلانكت ، ف . كليمانتس ، وعلم الاجتماع النباتي - سنة 1915 ، فتح فصل مخصب بشكل خاص بفضل مذكرة ج . برون (برون - بلانكت) حول هضبة ايفوال ، ان مفهوم « الاتحاد النباتي » الذي ارتأه همبولدت وأدخله ش . فلاهولت (1900) وجد في هذا العمل تطبيقاً محدداً .

في أميركا وتحت تأثير هـ . ك . كولس (1899 - 1901) ، وخاصة ف . كليمتس (1916) ،

يتبعه ج. أ. ويفر (1919)، ولد علم البيئة الدينامي.

وفوق أرض معينة تتالت الجماعات النباتية: يوجد تطور في المجلد البيولوجي، نحو حالة من التوازن تسمى «كليماكس». والاتحاد هو شراكة أو تلاؤم نباتي «فيتوكونوز»، مناخي، يسجل ضمن فئة المجموعات المدموجة، المغلفة حيث يلعب التنافس ولكن حيث النوع الغريب ممنوع من الدخول. ان المجموعة النباتية أو الشراكة (فيتوكونوز) هي بذاتها مكونة من شراكات صغيرة تسمى «سينوزيس» (ه. غامس، 1918) تتحدد ذاتيتها بوحدة المظهر الخارجي. ودخلت مفاهيم عديدة، كمية (كالغزارة، والغلبة، والتغذية، الخ) ونوعية (مثل المؤلفعة، والحيوية، والدورية أو الفصلية، الخ) من اجل تحديد الجماعات المشاركة (خاصة من قبل برون-بلانكت). وأيضاً ومن اجل تعميق المعرفة بالمظهر الديناميكي (كليماتنس)، يرى كليماتنس ان الاتحاد او التجمع هو «وحدة طبيعية»، تشبه النوع المصنف. أما الكليماكس أو حالة التوازن فتتوافق مع المناخ توافقاً ضيقاً.

ان الصلابة، والتقنية، والشكلانية أيضاً في مدرسة زوريخ - مونبليه التي اقامها برون-بلانكت، والمدرسة الاميركية التي اقامها كليماتنس قد اثارت المعادلات الحادة (ل. ج. رامنسكي، 1924؛ ه. أ. غليزون؛ ل. برون، 1950؛ ر. ه. ويتاكر، الخ). ومع ذلك فان اعمال برون-بلانكت واعمال كليماتنس التي سيطرت على علم البيئة العالمي منذ نصف قرن تبقى كمحاولات جميلة وخصبة في تفسير المزروعات.

ان علم الاجتماع النباتي (فيتو سوميولوجيا)، ويوجه عام علم البيئة قد عرفا نجاحاً كبيراً في العديد من البلدان منذ ما يقارب نصف قرن، ولائحة علماء النبات الذين خصصوا لهما قسماً ملحوظاً من اعمالهم، طويلة جداً فلا يتيسر لنا ذكرها هنا. ان التوجه البيئي كان له نتائج اقتصادية مهمة حفزت بشكل خاص جهود العلوم التابعة مثل علم التربة (ك. سورنس، 1909؛ ه. غلينكا، 1914) وماعدت بقوة العلوم الزراعية. وقد اشار لافرينكو يحق (سنة 1954) الى أن علم البيئة الجغرافي الترايبي قد ولد ليحجب على احتياجات نهاية القرن التاسع عشر: تقويم الارض، مقاومة الجفاف. وهو اليوم أحد العلوم الاساسية في نهضة البلدان المتخلفة اقتصادياً.

التصنيفات المتعلقة بالشمخ - ان المحاولات الجارية من اجل تصنيف الانماط الكبرى من الشمخ أو التكيف، بمعزل عن أي اعتبار تصنيفي، كانت كثيرة العدد جداً. ولكن بعضها فقد استعمل بشكل واسع في البيوجغرافيا أو علم الأحياء الجغرافي.

قدم ك. رونكيار Raunkiaer (1905-1934) نظاماً بسيطاً ومتناسقاً للاشكال البيولوجية (حول التكيف) تعمم استعماله في كل الدراسات الاحصائية للمزروعات، بما فيها البلدان الاستوائية. وهذا النظام يركز على الاعتراف بمختلف درجات الحماية التي تتمتع بها النباتات خلال الفصل السوء. والدراسة الاحصائية لتوزع هذه الانماط المتكيفة مع المكان تتيح وضع الطيف البيولوجي لاشكال المزروعات. لقد ذكر النباتيون المسافرون منذ زمن بعيد أنه توجد علاقة بين حجم الاوراق والمناخ. وقرر رونكيار تصنيفاً اصطلاحياً سنداً لحجم الاوراق الذي يشكل اداة اضافية من

اجل تحليل المزروعات .

وكان هوغيه دل فيلار (1929) هو واضع تصنيف مفيد للنمط الايكولوجي أي البيئي مرتكزاً على المسكن : مفارقتان كبيرتان ، تجاور ظاهر أو أرضي وتجاور مائي ، خمس وعشرون مرتبة من النباتات وفقاً للأوساط .

وصنف أ . روبل (1930) المزروعات إلى خيطية وعشبية ؛ أخذاً في الاعتبار الحجم ونسيج الاوراق ومظهرها ، والمسكن ، والاندفاعات ، ويميز بين مختلف انماط الغابات ، والمزروعات العشبية والصحارى ، الخ .

واقترح دانسيرو (1951-1957) تصنيفاً مرتناً لانماط المزروعات ، مرتكزاً على البنية وتحليلها ، ومستقلاً تماماً عن التصنيفية . وهذا التصنيف يتلاءم مع التعبير الرمزي بواسطة الرسم ، واستخدم ست فئات من المعايير هي : الشكل البيولوجي ؛ قامة الافراد ؛ التغطية (المكان الذي يحتله كل الافراد ، ضمن المساحة المعتبرة ، وفقاً للاسقاط العامودي) ؛ الوظيفة ، شكل الاوراق وقامتها ، النسيج الورقي . ذلك هو منتهى تيار فكري يعود إلى همبولدت (1806) وكان هذا التيار ذا خصوصية عجيبة .

مفهوم «السينوزي» - ان مفهوم السينوزي (الشراكة) ، قد استعيد من قبل العديد من المؤلفين منهم ت . ليمان Lippman (1934) ، وطبقه كين Caine و . ت . بنفاوند Penfound (1938) على دراسة بعض الاتحادات الغابائية .

هذان المؤلفان الاخيران يعترفان بوجود طبقات سينوزية في الغابة ذات الاشجار الكبيرة الحمراء (القيقب) في اميركا الشمالية : طبقة مشجرة ، طبقتان ذات شجيرات صغيرة ، وطبقة عشبية الخ . فالطبقات - وفكرة التميز بينها تعود إلى ر . هولت سنة 1881 - لكل منها مظهر واحد ، أو ، في نظام رونكيار ، لها نفس الشكل البيولوجي (اشكال بيولوجية ، وسينوزات ، تتسلسل هنا عامودياً) . ومفهوم الشراكة قد استعملت بقوة ب . و . ريشاردس (الغابة المطيرة الاستوائية ، 1952) .

دراسة النباتات الاستوائية - بذل جهد من اجل تطبيق المفاهيم والطرق المقررة في مجال « علم اجتماع النباتات » المأخوذ عن البلدان المعتدلة ، على البلدان الاستوائية . وكان هذا احد المظاهر الاكثر اصابة في علم الجغرافيا الاحيائية الحديث (س . أ . كين وج . م . دي اوليفيرا كاسترو 1959) . وفي أغلب الاحيان (ج . تروشين ، 1940 ؛ ج . لويران ، 1947 ؛ الخ) يلجأ إلى أنظمة هوغيه دل فيلار Hugué de Villar ، ورونكيار ، من اجل تحليل المزروعات الاستوائية . والى فكرة برون - بلانكت وآخرين عاد العديد من العظماء المتخصصين في علم النبات الاستوائي (كين ، ر . شنيل ، ج . مانجينوت ، ب . دوفينييه ، الخ) .

ومن قبل هذه الحركة في البحث ، وعلى موازاتها ، تطورت جغرافيا نباتية استوائية أقل عقائدية ، انما ترتسم ضمن تراث انغلر ودرود . ومع ممثلين أمثال ه . پرييه دي لاباتى ، أ .

شوقاليه ، هـ . هانيسورت ، أ . اويرفيل وأيضاً ت . مونود ، وكلهم علماء نبات أرض وعلماء بيئة ، اعطت الجغرافيا النباتية لفرنسا دوراً مهماً في هذا المجال .

توزع النباتات - ان علماء الجغرافيا النباتية قد اهتموا بالوسائل التي بواسطتها يتم توزيع السبورات أو البوغ ، بزور ، أثمار وغيرها من الغبار (التي ليس لها شيء مشترك الا وظيفتها التي تؤمن التوزيع الانساني أو الالفاحي) ، وبعضهم فضل أن يكرس نفسه لدراستها . وتدل أعمال هـ . ب . غويي (1912) وهـ . ن . ريدلي (1930) التي ما تزال تعتبر كلاسيكية على الجهد الضخم المبذول والذي لم يلاق حتى الآن المتابعة التي يستحقها .

فمنذ - والي عشرين سنة تمت العودة بحماس إلى هذا القطاع من البحث الذي هو أحد الفصول الأساسية في المنهجية الإحيائية . والتنوع الشكلي للزور وللأثمار يبقى غير مفهوم إذا لم ينظر إليه من منظور التطور والتكيف ، خاصة في ضوء الداروينية .

وقد جهد علماء البيئة في أن يميزوا فئات ملائمة لأنماط التوزع ثم صنفوها . ودرس ر . موليني وپ . مولر (1938) ، ثم پ . مولر (1955) الزرع ذا المكونات المتناثرة جداً في فرنسا الجنوبية . وقام دانسيرووك . ليمس (1957) بنفس الشيء فيما يخص بعض التشكيلات في كندا . وهكذا تم اثبات تقارير جديدة مهمة .

المسح الجغرافي النباتي (كارتوغرافيا) - ان نشأة هذا الفرع من العلم تعود إلى العمل المشهور الذي قام به ش . فلاهولت (1893) الذي انضج طيلة خمس عشرة سنة مشروع وضع خارطة نباتية وغابائية وزراعية من مقياس 1 على مليون ، لفرنسا ، ولكنه لم يلاق سوى إساءة الفهم والتجاهل في الاوساط الرسمية ، رغم انه الح على جدوى هذا الموضوع بالنسبة إلى الاقتصاد الحرجي والزراعي . ففي مختلف البلدان وتأثير مباشر منه وضعت خارطات نباتية في كل من : اسكتلندا (ر . سميت ، 1900) ، سويسرا (ر . پ . هاغر ، 1916) ، ألمانيا ، النمسا . وفي سنة 1911 قدم أ . شوقاليه خارطة نباتية ، حرجية ورعائية لافريقيا الغربية الفرنسية التي بقيت الخارطة الوحيدة للنباتات لكل هذه المساحة .

منذ سنة 1900 قام مؤلف روسي هوج . ي . تافيليف ، المتغذي بأفكار دوكوتشايف ، برسم خارطة من السلم الصغير للنباتات في علاقاتها بالأنماط الوراثة للتربة ، ومغطياً كل روسيا . مع ج . ن . فيستوسكي (1909) الذي أبرز العامل البيئي . عبرت الخارطة تركيبياً عن العلاقة البيئية - الجيولوجية . وفي العلاقة مع علم التربة وعلم الزهور ، ومعرفة الموارد النباتية واستثمارها ، أصبح علم الخرائط النباتية ، في الاتحاد السوفياتي ، أحد الفروع الأكثر خصباً في النشاط النباتي (ن . ي . كوزنيتسوف ، أ . م . لافرينكو ، ف . ب . سوتشانا ، الخ) .

ويعود الفضل إلى ل . اسرجير (خارطة جغرافية نباتية للمغرب من معدل 1 على 500 000 ، 1936-1939) وإلى هـ . غوسن انهما اعدا الاتصال ، في فرنسا ، بالتراث الذي شرعهُ فلاهولت . فتحت تأثير هؤلاء العلماء ، بدأ عمل ضخم بالانساع ، عمل تركيبي جاء ينسج البحوث الجغرافية ، والبيئية والبيولوجية (پ . راي ، 1960) .

إن أحد المشاريع القوية الكبرى كانت الخارطة الجغرافية النباتية للعالم بمعدل 1 على مليون ولكن حتى الآن لم يتم الاتفاق على مبدأ صورتها (التي ارتأها سابقاً غوسن ولافرينكر) .

حيوية الجغرافيا النباتية - هناك العديد من المنشورات الاخرى التي لا نستطيع ذكرها تؤكد على الحيوية ، التي لا ينكرها أحد منذ قرن ونصف ، في مجال الجغرافيا النباتية . ولكن الجذب الذي يمارسه هذا المجال العلمي يعود أيضاً إلى انه قد اثار سلسلة من النظريات ذات الوقع الكبير ، انضم اليها رؤساء مدارس عظام .

إن نظرية ج . ك . ويليس (1917-1926) حول نشأة السطوح كان لها فضل ، ان لم يكن في حل - لأن سطح نوع ما قلماً يتناسب دائماً مع عمره - فعلى الأقل في طرح المسألة التي هي في أسس سلسلة من الأعمال . ان نظرية « النوناتاك » (nunatak) التي وضعها ل . ل . فرناند ، المتعلقة بالنباتات ما قبل الجليدية في القطب الشمالي وبملاذاتها ، قد حفزت هي أيضاً البحوث . ان نظرية ويجينر حول طفاوة القارات هي في أصل تيار فكري حقيقي .

إن هذه النظرية التي خضعت لانتقادات العديد من المعارضين (ديلس ، دوريتز ، الخ) ودافع عنها بحماس عظماء الجغرافيين البيئيين (أ . ف . وولف ، ر . جانيل ، الخ) والتي أعطت تفسيراً مغرياً للطريقة التي بها تم تمزيق النباتات اوتقارها ، هي اليوم منبوذة⁽¹⁾ .

منذ ما يقارب من عشرين سنة عرفت الجغرافيا النباتية اهتماماً متجدداً . ان نشر الكتب الاساسية لـ وولف (1943) وكين (1944) ور . غورد (1947) قد تبعه نشر المذكرات المهمة التي وضعها ل . كروازات (1952-1958) ، وكتب دانسيرو (1957) ، وكين وكاسترو (1959) وكتاب ن . بولونين (1961) حول القطب الشمالي . ان هذا الازدهار في الدراسات المهمة يدل على أن الجغرافيا النباتية توشك أن تصبح علماً راشداً .

III - تصنيف المملكة النباتية

لم تنفذ الثورة الداروينية إلى تصنيف النباتات الا في أواخر القرن التاسع عشر ، مع ايكلر Eichler ومع انگلر Engler . في حدود 1900 ، عرفت البحوث النباتية الوراثة نجاحاً لم يسبق له مثيل ، انما خمد بالاستمرار ؛ فعلم الاحاث النباتية كان يومئذ في عز ازدهاره ، واخذت عنه معطيات أساسية من اجل بناء تربيئات جديدة منهجية . سريعاً ما تسرب الشك إلى الاطر الكبرى في المملكة النباتية ، اطر لينّي واندليشر Endlicher وغيرهما ، فيما يتعلق بمعناها العميق بالنسبة إلى التطور .

واليوم ترفض المفارقة الكبرى اللبينة حول النباتات الازهرية ، وحول باديات الزهر ، على الاقل بمقدار ما ترمز اليه هذه القسمة غير المستويات الافقية للتطور ، مستويات اصيبت بسلاسل متنوعة ومستقلة وذات جذور غير معروفة .

(1) راجع الفصل الثالث من القسم الثالث .

وكذلك مفهوم الكورموفيت النباتي ، الذي يغطي في نظرنا مجموعاً كبير التناظر من النباتات .

إن نظرية هوفمستر (1851) اوجت بمجموعة طبيعية ذات اتصالات مستمرة ومتدرجة ، أي تحديد النباتات ذات الرجم المتطابقة مع تحديد الكورموفيت ؛ وهو تصور عمل اكتشاف الطحليات ذات البرور على تقويته ، وذلك بمد جسر بين اللازهريات وباديات الزهر الوعائية . وكان لا بد من العودة عن هذه الاندفاعات المستعجلة . اذ لا يوجد أي رابط تنازلي أو سلالي بين البريوفيت والنباتات الوعائية ، ولا حتى بين البتير ودوفيت وعاريات البذور وكاسيات البذور ، على الأقل اذا اكتفينا بالانواع الحية . ان البتيريدوسبرم تظهر كصف قديم جداً (العصر الديفوني الجوارسي) الذي يوازي صف الطحالب ويتميز عنه تماماً . ان مفهوم الاشنة والفطر ، وعلى العموم كل النباتات التي ليس لها ساق تعبر أيضاً عن مستويات تطور لا عن تواليدات تطورية .

في كل المجالات التصنيفية اضطر البحث الحديث المهتم بالقرابات وبالاصول إلى تجزئة المجموعات ، وإلى إحداث اعادة ترتيب واسعة ؛ وقد اضطر البحث الحديث أيضاً إلى التخلي ، ولو مؤقتاً على الأقل ، عن الطموح الطبواي الرامي إلى التعبير عن التطور في عالم النباتات بغير الخطوط المتوازية المتجزئة .

وحتى لا يحدث ارباك في الأصراف كبير ، فاننا نذكر هذا النشاط ، مع تقطيعه أحياناً بشكل كفي قليلاً . فننظر على التوالي إلى الحزازيات (برويوفيت) وإلى السرخيات . (بتيريدوفيت) وإلى السبرماتوفيت ، جامعين فيما بعد الفئات الأخرى تحت عناوين علم الطحليات (الغولجي) ، وعلم الفطريات (ميكولوجي) .

1 - الحزازيات

كما ذكر ب . و . ريشاردس ، إذا كانت مجموعة الحزازيات ، بدون فائدة اقتصادية ، والمتمثلة باختصار بحالة التحجر ، قد اهتمت في الثلث الأول من هذا القرن ، فهي تؤثر اليوم تأثيراً جاذباً على علماء البيئة الذين ينظرون بعين أفضل إلى غرائبها الشكلية والبيولوجية والفيزيولوجية ، مع اقتناعهم شبه الاجماعي بفشل النظرة التطورية التي كانت تمثلها مجموعة الحزازيات هذه في الماضي .

إن القسمين الكبيرين الأشنة (موس) (والتي وضعت أسسها التصنيفية من قبل م . فليشر وف . ف . بروتيروس ، 1920-1925) والكبديات ، قد قسمتا إلى خمس مراتب من قبل ديكسون وف . فيردورن (الدليل البيولوجي ، 1932) هي : الاسفغنيات ، الأندريات ، البريال ، بالنسبة إلى الاشنة ، ثم الهياتيكال وقرينات الزهر في الكبديات .

إن المسار الحديث للأفكار يبدو وكأنه يستلزم التغير الضخم في هذا التصور . وبعض المؤلفين رفعوا إلى رتبة الصف قرينات الزهر ، أو الاسفغنيات ، ولكنهم قلما اتبعوا في رأيهم هذا . ووقعت أحداث جديدة بعد ذلك منها : رهاقة البحوث وتكاثرها ، تجدد المناهج (أعمال خلوية

قام بها و. ك. ستير ، 1958 ؛ س. ثاتانو) ، إعادة تقييم السمات واكتشاف نباتات جديدة . لا شك ان اصحاب المناهج قد اعطوا أهمية تصنيفية كبيرة لنمط تناول الاجيال ، باعتباره كأساس في وحدة المجموعة ، مهما كان تشتتها . والقراءة بين الاشنيات والكبديات (هـ . ن . اندروز ، 1961) ، ليست افضل من القراءة المعترف بها بينها وبين مختلف اعراق الالزهريات الوعائية . في خطوة أولى تم الاعتراف بمركبين : النباتات الكبدية (هياتوفيت) ، والحزازيات (البريوفيت) (هـ . ك . بولد ، 1957 ؛ اندروز) . وهناك استعداد للقيام بخطوة ثانية يمكن أن تكون الاعتراف بخمس شعب (و. ك. ستير ، 1960) .

ونعرف اليوم حوالي 25 ألف نوع من الاشنيات وما يقارب 350 نوع من الاسفنجيات (Sphagnes) و 10000 كبدية . ولكن الجردة تتكامل وتتابع ، موسومة في بعض الاحيان باكتشافات ، كمثل اكتشاف « كريبتوتالوس » وهو كبدى رمي [يعيش على حجاب مواد عضوية متحللة] ، واكتشاف نوعين من المارشتيالى في نيوزيلندة وأستراليا (1954-1956) احدهما يمثل بمفرده عائلة جديدة .

2 - السرخسيات

تعتبر السنوات 1900-1902 معلماً بفضل نشر الدراسة المتخصصة حول السرخسيات في موسوعة « غلاتزن - فاميلين » وأعمال أ. ك. جيفري حول المورفولوجيا أو علم الشكل وحول تشريح النباتات الوعائية . والجهد الضخم المبذول في أواخر القرن التاسع عشر ، الذي قام به علماء تشريحيون وشكليون ، وعلماء احاث ، ظهر في التركيبة التي قام بها انجلر وبرانتل ، والتي تثبت التعقيد التصنيفي الخاص بمجموعة من النباتات تكون فيها المتحجرات ذات عدد مرتفع بصورة استثنائية . وبذات الوقت ادخل العالم التشريحي الاميركي الكبير جيفري فرعاً أساسياً ، مرككراً على هندسة النباتات : انماط ذات اوراق صغيرة أو ليكوسيدا (ليكوبود ، أكوبيزنوم) ، انماط ذات اوراق كبيرة أو بيتروسيدا .

وقد حاول غوبل في السابق ، على أساس بنية النسيج الجببي « المولد للجيب » ان يقسم النباتات الوعائية إلى « لبثو » وإلى « أو - سبورنجيه » أي حبيبات كبيرة وحبيبات صغيرة . وكان جفري مأخوذاً بنفس الطموح الضخم ، فوضع ضمن « البتروسيدا » ، ومعها الطحالب ، عاريات البزر وكاسيات البزر (وكلها في نظره نباتات ذات سلالة طحلبية) . وطور هذا التصنيف من قبل ج. پ. لوتسي (1909) ، وفتحت اعمال جفري ، التي تدعو إلى وجود سلالتين كبيرتين من النباتات الوعائية ذات الاصول القديمة جداً ، طريقاً ذا أهمية استثنائية ، ادى إلى فصل كورموفيت اندليشر ، وخاصة الى تجزئة السرخسيات القديمة . وفيما بعد تم تحديد البتروسيدا ، وقصرها على الطحلبات فقط .

في سنة 904 بين لينيه Lignier ان الاسفينيات المتحجرة والايكوبيزيتال (پريل ، ذيل الحصان) تشكل مجموعة طبيعية سماها « المفصليات » (وهي ما نسميه سفينوسيدا) . وهكذا تخلصت ليكوسيدا من مجموعة أصبحت مساوية لها من حيث الرتبة . وبذات الوقت تقريباً تم

التعرف على صنفين آخرين من رتبة مساوية هما : بيلونال (م . ج . سيكس ، 1908 ؛ لوتسي) وبسيلوفيتال (ر . كيدستون وو . هـ . لنغ ، 1913) ، أو بيلوتوسيدا وبسيلوفيتوسيدا (وهذه الطبقة قد انقرضت) بحسب ترقيمنا . هذه الشعب الخمس مقبولة على العموم في إيماننا . وتقدر أعداد الأنواع التي تؤلفها بسبعة آلاف (ك . كريستنسن ، اندكس فيليكوم وملحقاته 1905-1933) ، في حين أن ليني لم يعد فيها الا مئتين .

إن أعمال بوير (1923-1928 ، 1935) ، وو . لينيه (1900-1912) قد أمالت البحوث المنهجية ، في حين أن كتب علم الاحاث النباتية التي وضعها د . هـ . سكوت (الطبعة الثالثة ، 1920-1923) ، وم . هرمر (1927) كان لها تأثير ضخم على تطور علم السرخسيات ، أو النباتات المجنحة . إن بحوث ي . مونتون حول علم الخلايا فيما يخص البتيريدوفيت أو السرخسيات ، والأعمال الاجاثية النباتية التي قام بها أ . ن . كريشتوفوفيتش ، وأعمال ج . اردتمان حول البوغات ، كلها تدل على مدى إبعاد التقدم . نذكر ، فيما يخص تصنيف الفصائل والأنواع ، أن الاطر تبقى الأكثر تموجاً .

3 - سبرماتوفيت أو النباتات ذات البذور

في اميركا ، لقيت الرسمية التي وضعها و . تيبو Tippo (1942) والمرسومة سندا لأعمال جيفري ، وآ . ج . إيمس (1936) وج . م . سميث (1938) خطوة كبيرة . فقد قسمت فيها المملكة النباتية إلى قسمين : تالوفيت (عديمات الساق) (كل أعراق الاشنيات والفطور) ونباتات جنينية (حزازيات ، والتراشبوفيت) . والتراشبوفيت (هذا التصور الذي يعتمد مفهوم بتيرويسيدا عند جيفري ، محاحتماً هكذا الحدود مع السبرماتوفيت ، واصطدم بمعارضة العديد من النباتيين الأوروبيين الذين يظنون امثال ر . أ . ج . بيشي سرمولي (1959) أن التصنيف القديم إلى حزازيات ، سرخسيات وسبرماتوفيت يبقى هو الأفضل .

إن مفهوم سبرماتوفيت قد اعتمد ليحل محل مفهوم الفانيروغام ، فقد تقرر ان نباتات قد وجدت في الفحمي ، « كاربونيفيز » (والذي يمتد ، في الواقع من العصر الديفوني إلى الجوارميك) هي البذريرات المجنحة ، التي تربط الفانيروغام إلى كريبتوغام الوعائية . وبعدها قل الاجتماع حول تأويل بذرة البذريرات المجنحة (هـ . ن . اندروس ، 1948 ؛ د . آ . جوهانسن ؛ هـ . ج . لام) .

جيمونوسيرم (عاريات البذور) - اعترف انغلر (1897) ، بعد النظر الى المتحجرات ، بست مراتب السيكاكسيات ، البتنيات ، الجنكيات ، الكورديات ، المخروطيات ، الرجرجيات . وكانت هذه خطوة كبيرة أولى منذ ايكلر (1889) الذي لم يكن يأخذ إلا بأربع فصائل هي : السيكاكسيات ، الكورديات ، المخروطيات ، الرجرجيات . في سنة 1899 ، اقترح لوتسي Lotsy رفع مجموعة الرجرجيات إلى مرتبة تساوي مرتبة عاريات البذور : وفي هذا اعتراف بأول تفارق أساسي ، وجود عرقين متميزين على الأقل .

اعتقد ك. شميرلين (1935) بوجود عرقين كبيرين عرق السيكاسيات ويتضمن البذريات المجنحة أو سيكادوفيليكال (السراخس السيكاسية) مع أوراق ريشية من نمط الخنشار، وعرق كونيغروفيت (يتضمن بصورة خاصة الرجرجيات والجنكيات).

هذه الرسيمة سبق وكانت رسيمة النباتي الاحاثي أ. و. بيرى (1918) الذي اضاف عرق پتيريدوسبرموفيت. انها أيضاً الفروع الثلاثة التي قال بها لام (1960)، ولكن هذا المؤلف استبعد البذريات المجنحة من السبرماتوفيت. ان نظام جوهانسن (1951) المشتق من نظام ك. آ. آر نولد (1948) يتضمن خمسة عروق: البذريات المجنحة، السيكاسيات، الجنكيات، الخرطوميات، العقوديات.

وهكذا توضح التطور بصورة تلريجية نحو تفتت في الجيمنوسپرم القديمة. واقترح امبرجر (1942-1960) جمع وعزل السبرماتوفيت على حدة، تحت اسم بريفانيروغام، مجموع من مجاميع منفصلة عن الجيمنوسپرم: پتيريدوسپرم (بذريات مجنحة، كيتونيات، سيكاسيات) وكورديت (كورديات، جنكيات). هذا التصور الذي يركز على الواقعة بأن البويضة، في هذه المجموعة، لا تتحول إلى بزة، قد اصطدم بانتقادات حادة جداً (پ. مارتنس Martens، 1951).

واستمر الميل التفتتي: في سنة 1920، أثبت ب. ساهني، بعد ج. م. كولنر وشامبرلين، تشتت الكونيفرال، وهي رتبة سوف تقسم إلى خمس. هذا الترتيب، استعاده امبرجر، ولم يقبل من قبل مدرسة غوسن Gausson.

وركزت الاعمال الجنينية التي قام بها ج. ت. بوكهولز (1929)، وكذلك كتابان مهمان لكولنر وشميرلين (1917)، وشميرلين (1935) على دراسة الاعضاء التناسلية وعلى تأويلها.

منذ 1930 قدم السويدي ر. فلورين مساهمة لم يسبق لها مثيل تتعلق بالمسائل الأكثر اشارة للجدل حول بنية الجيمنوسپرم الحية والمتحجرة: أنماط المسام، تفسير المخروطيات الانثى في الكونيفير، بحوث حول الكورديتال، إذ بين انها خاصة بالعصر الباليوزويك وتمثل قاعدة (أرومة) الكونيفروفيت.

الكاسيات البذور (انجوسپرم) - رأى المنصف الاميركي ج. ه. م. لورنس (1951) ان خمسة أنظمة تطبق بشكل واسع في أيامنا (بتام وهووكر، أنغلر، يسي، هوتشينسون، تيو)، والانظمة الاخرى تشتق منها بصورة مباشرة نوعاً ما. وجميعهم، منذ أنغلر، هم من انصار النسالة (phylogénie)، على الاقل بالفكر. وقد جهدوا في توزيع النباتات إلى مجموعات طبيعية على أسامس التطور. الواقع، ان رسيمة فجة تقصّر على اثنين تيارات الفكر، التيار الاول انطلق من ايكلر-أنغلر، والآخر، صادر عن بتام وعن تيو. وهذا التيار الاخير لا يهتم بالتحليل التصنيفي لكاسيات البذور، بل بمجمل المملكة النباتية خارج المشريات، وأصل النباتات الوعائية، وخاصة كاسيات البذور (انجوسپرم) (عنصر من پتيروسيدا) مذكور فيها ضمن پسيلوفيت (العصر الديفونيان)، فكرة انطلقت من نظرية لينيه Lignier (1904-1912)، واخذ الكثير من المؤلفين

يرفضها (مارتنس، 1950؛ س. لكلرك؛ م. ساديفو)

إن نظام انغلر (راجع المجلد III) الذي يتمسك به آ. ب. رندل (1904-1925)، ر. فون وتستمن، آ. بول Palle، ك. سكوتسبرغ (1949) يحتفظ بأهمية عملية أولية، لأنه يبقى في أساس ترتيب المعشبات الكبرى وغالبية المجموعات النباتية. إلا أن العديد من مبادئه قد رفض، أن فكرة «الجيمنوسبرم» الجدودية، وفكرة التقليد القديم القائل بنسبات ذات ازهرار (آمانتيفار)، فكرة السمة الأصلية للالاقاح بواسطة الهواء، هي مجرد فرضيات تبدو اعتباطية بصورة متزايدة (ك. روبرتسون، 1904؛ أ. ن. آربر، وج. باركن؛ ي. و. بايلي، 1952).

إن نظام الأمريكي ك. أ. ييسي (1894-1915)، الذي يتعارض مع النظام لسابق، قد طبع بقوة اتجاه الفكر التصنيفي. وفيه تُرى الزهرة البدائية وكأنها حُفْرية التلقيح المزدوجة الجنس ومزودة بكم (غلاف الزهرة). يعتقد ييسي بنظرية الكوز (ف. و. بوير)، وبموجبها تمثل البنية الوعائية الأصلية كوزاً كاملاً، محوراً رئيسياً يحمل متتالية من الأوراق المصفوفة بشكل لولبي، وبعضها مزود بأعضاء تناسلية. وتمثل «رانال-ماغنوليال»، في مثل هذه الحالة، المركب الجدودي الموروث الذي اشتق منه العرقان الرئيسيان؛ وحيدة الفلقة وثنائية الفلقة. أما تصور ه. هالتي (1905)، القريب من التصور السابق، فانه يضع في الأساس الماغنوليال والبريسيات؛ وفيه الكثير من التقادير الجديدة.

وينضم إلى ييسي أيضاً الانكليزي ج. هوتشنسون الذي عرض في كتابه «عائلات النباتات المزهرة» (1926-1934) - دون أن يبرر - مبادئ تصنيف جريء، يوزع العائلات إلى عرقين، الأول خيطي ليفي، والثاني عشبي، والاثنان متفرعان عن نفس الأرومة المفترضة وهي پرو-أنجيوسبرم. أنه الرجوع إلى الثنائية القديمة السابقة على لينني Linné، والتي ترتدي فيها سيطرة هوتشنسون Hutchinson مظهر المراهنة. ولكن وراء هذا «العرض الصدامي»، كان هناك عمل وقف أمامه علماء النبات متأثرين.

فوضعت تصنيفات جديدة بعد ذلك، خاصة تصنيفات آ. ل. تاخاجان (1954) وتصنيفات ل. امبرجر (1960)، الأولى أحادية العرق، والأخرى تعددية الاعراق؛ والاثنان تفترضان، كتصنيف تيو، أن منشأ النباتات الوعائية انطلق من النباتات الجرداء. ويمتاز نظام امبرجر بطموح محدود.

كتب هذا المؤلف بحق فقال: «الكثير من المؤلفات تعرض المنهجية كما لو أنها نشأت كاملة، وكما لو أنه لم يبق أمامنا أي شيء نكتشفه، لفرط كمال البناءات الانسالية فيها. في حين أن الواقع مختلف تماماً، وهذا ما يجب قوله: أننا لا نعرف إلا الفروع الرئيسية من الشجرة العائلية، وبعض عناصر تفريعاتها؛ وروابط موقع الفروع من المرتبة العليا بالنسبة إلى غالبية المجموعات المنهجية ما تزال مجهولة».

إن تكرار التصنيفات المقترحة من جانب المؤلفين المختلفين قد يوحي بأننا موجودون في مجال حدسي حيث لا يوجد للمعلم مصك. الواقع أن علم التصنيف، مهما بدا مقصراً أو مخيباً

للأمال ، فإنه لم ينفك يتطور تبعاً للإنجازات الحاصلة خارجه (الاحاث النباتية ، علم الخلايا ، علم الاجنة ، علم الانسجة ، علم الوراثة ، البيوكيمياء ، الخ) وقد شاهد القرن العشرون بعضاً من هذه التطورات الأكثر بروزاً .

في الفترة 1934-1941 ، اكتشف آ . ك . سميث في جزر فيجي نوعاً من مستترات البذور قديمة جداً سماها ديجينيريا (ديجينيراسي ، مرتبة الرانال) . وكان هذا الاكتشاف نقطة انطلاق لاستقصاءات معمقة حول البنية النباتية في الرانال ، من قبل مدرسة هارفارد تحت ادارة ي . و . بيلي (1942-1951) . واثبتت أعمال موازية سلسلة تطورية متعلّقة بالايامينات أو السداة (عضو الذكورة ، ج . أ . كانرايت ، 1952) . رسمت هذه البحوث تاريخاً مهماً في علم تشكل الازهار . فضلاً عن ذلك ان المعطيات الجديدة التي تتناول الغاميتوفيت ، حول البوغات ، والافرازات والبروتينات الموجودة في الحشوة الخلوية ، تدل على وجود حقول عديدة يجب اكتشافها . ويبقى أيضاً الكثير من الأصل لجهة البحث عن مهاد جديدة للنباتات المتحجرة ، واستكشاف النباتات غير المعروفة جيداً ؛ وهكذا منذ سنتين تم وصف خمسة وعشرين نوعاً جديداً من اشجار القهوة البرية (ج . ف . لوروا) .

إن حيوية علم التصنيف فيما يتعلق بالسيرماتوفيد (النباتات ذات البذور) ، وخاصة الكاميات البذور قد عبّر عنه بنشر سلسلة من الكتب من النوع الممتاز (آ . غوندرسن ، 1950 ؛ ج . ه . م . لورنس ، 1951 ؛ أ . ل . كور ، 1955 ؛ أ . و . ستوت ، 1955 ؛ ل . بنسون ، 1957 ؛ بورتر ، 1960 ؛ امبرجر ، 1960 ؛ الخ) .

4 - علم الطحالب (الغولوجي)

إن الاعمال المهمة التي حققت بين 1940 و 1880 من قبل أغارد ، كوترنغ ، ج . ثورت وأ . بوريه (1878) ، الخ . وضعت الاسس التي سوف يُبنى عليها علم الطحالب الحديث الذي سوف تكون انجازاته ممتازة بشكل ملحوظ . ومنذ الربع الأخير من القرن التاسع عشر أتاحت الشروط التقنية والمنهجية لهذا العلم المرتكز بصورة أساسية على خصائص خلوية وبيوكيميائية وعلى نماذج الجنس والدورات التطورية ، ان ينهض نهضته . إلى هذا المنعطف تضاف ، بشكل حاسم اسماء ك . ج . ف . شميتر ، وج . برتهولت ، وج . كليس . وقد سبق ان انطلقت تيارات بحوث حول تنالي الاجيال وذلك بفضل ج . رنكي ، ب . فالكنبرغ ، ج . ل . وليامس . ومنذ سنة 1904 نشر ف . اولتمنس كتابه حول « المورفولوجيا والبيولوجيا عند الطحالب » في حين ظهر بين سنة 1889 و 1924 في بادو كتاب « سيلوج الغاروم » للمؤلف ج . ب . ديتوني وهو موسوعة ضخمة ومفيدة جداً .

وفي نصف قرن من الزمن سوف تتحقق انجازات مهمة عديدة في كل المجالات الفيزيولوجية (التغذية ، التنفس ، التركيب الاشعاعي ، الترسيبة الخلوية ، الظاهرات الكهربائية) والبيولوجية (التناسل ، التصنيف ، النمو ، التكيف) . وفيما يتعلق بالمنهجية وبالتطور سوف يحدث تجديد كبير عميق في الأفكار : تجسّدت المفاهيم الحالية التي اثبتت من أعمال شرفيل وبوهلن ولوتر

وبلاكمان ، في مطلع القرن ، وذلك بفضل باشر ، ثم تُرجمت في نظام فريتش (1935) وج . م . سميت (1938) : وبعد ذلك تفتت الفرع القديم ، فرع التالوفيت (اندليشر Endlicher ، 1840) ، ويُعتقد اليوم ان المجموعات الكبرى من التالوفيت هي عروق طبيعية ، أحياناً معزولة تماماً ، وبدون ذرية حتى . وقد لقيت هذه الافكار ، المكرسة في أوروبا بفضل م . شاديفو ، 1960 ، في اميركا ، استقبلاً ترحيبياً (باين فوس ، 1946) . وفَصُل اندليشر لم يفقد أهميته ، كجذع بين الارشيفونيات (اطار يتلاءم مع اطار الكورموفيت) .

فضلاً عن ذلك ساد الظن في الماضي ان نباتات ذاتية التغذية كالطحالب يُفترض أن تكون أول المخلوقات على الارض وان مجموعة الفطريات ، المعتبرة كفرع ثانوي ، تتحدر من الطحالب بعد ان تفقد الكلوروفيل . وحتى سنة 1912 عبر نظام انغلر عن هذه الفكرة حول وحدة التالوفيت ، والاحكام الصادرة حول تحدر الفطريات هي اليوم اكثر دقة : فهذه الاجسام تتوزع هي أيضاً إلى عدة فروع يمكن أن تكون معزولة ومستقلة . وبعض علماء الخلايا يذهبون إلى حد الاعتقاد بأن الفطريات تمثل مملكة متميزة عن مملكتي الكائنات الحية ؛ وآخرون يقيمون علاقات مع الطحالب الحمراء والطحالب السمرء ؛ وهذا مجال من الفرضيات غير مضمون .

ومن وجهة النظر الوراثة - النباتية ، اتاحت البحوث حول العلونات تبين الشبه التلوني بين الطحالب الخضراء والنباتات العليا (هـ . هـ . ستريين Strain ، 1944) ، ثم تقوية الاطروحة حول الاصل الكلوروفيسي للنباتات العليا .

وستنقص مسار معلوماتنا على مستوى شعب أربع ، حسب وجهة نظر م . شاديفو .

الطحالب الزرقاء أو شيزوفيكوفيت - انها تشكل مجموعاً مؤلفاً من ألفي نوع ، مستقلاً تماماً ، فلا وجود للخلايا السوطية ، ولا وجود للنواة الخلوية المنتظمة ، نمط من الصبغ خاص ، انتاج خلايا خاصة ، تناسل جنسي غير معروف ؛ ان تقدم التقنيات في مجال التربية الزراعية الخالصة قد أتاح تربية أنواع كوكودية وخبيطية فوق وسط معدني ، وبعض الانواع تمثل بصورة مباشرة الأزوت من الفضاء ، (س . ر . هوفر ، 1936 ؛ ف . أ . أليسون ، هـ . ج . موريس Morris) .

إن استقلالية المجموعة قد عُرفت من قبل أغارد سنة 1824 ، ومنذ 1854 ذكر ف . كوهن وجود قرابة بين هذه الاجسام والبكتيريا . في سنة 1880 أوجد هذا العالم كلمة شيزوفيسي للدلالة عليها . وهي تشكل مع الشيزوميست (بكتيريا) الفرع من شيزوفيت انغلر . استبعد هذا التصور الموحد الذي يبدو صالحاً حتى الآن . ان احدى المساهمات الرئيسية في المعرفة التصنيفية لهذه النباتات قدمتها أعمال پ . فريمي ، ول . جيتلر (1925-1942) التي تنبثق عنها أعمال آ . آ . النكين وفريتش . وميز شاديفو ، كما فعل فريتش ، بعد ان ارتكز على السمات المتعلقة بالجلد ، وبالبروغات وبالاكياس المتباعدة بين خمس مراتب . في حين ميز النكين Elenkin بين اثني عشر ، وقال آخرون بوجود ثلاث مراتب فقط .

الطحالب الخضراء أو كلوروفيكوفيت - في هذا الفرع الضخم (6 إلى 8 آلاف نوع) ، الذي ينمو في المياه العذبة يبدو التنوع المورفولوجي أو الشكلي والايكولوجي أو البيئي غنياً إلى

أقصى حد . فبعض الأنواع هي وحيدة الخلية ومتحركة ذاتياً (كَلَامِي دوموناس) أو غير متحركة (ديسميدي) ، وأخرى مستعمارية (فولفوكس) أوليفية (أودوغونيم) ، كونوبتيكية (كوديوم) أو غشائية (أولفيس) .

في أواخر القرن التاسع عشر ، وعلى أثر ستينزنجر ، وراين هورست ، جرى الاعتراف عموماً بأربع مراتب من الطحالب الخضراء هي : بروتوكوكوايدي (بما فيها أوغلين) ، كونجوغاني ، سيفوني ، كونفرويد . في سنة 1895 ، جمع الإيطالي أ . بورزي عدّة أصناف مشتتة حتى ذلك الحين داخل عدة فصائل من الطحالب الخضراء وألف منها مرتبة كونفرقال المتميزة بأنماط من الصبغ ومن الأهداب وبالاختلالات (التي ليست من النشاء) . وفي سنة 1899 ، بين آ . لوترانه في هذه الأصناف تحتوي السبورات الحيوانية هديتين غير متساويتين مهما كان مستوى تطور الجذع ، واقترح سحب كل هذه النباتات من الطحالب الخضراء التي أوجد لها طبقة هيتيروكوتي (كزاتوفيس دي ألورج ، 1930) ، وهو عنصر مستقبلي في الكريزوفيكوت . وفي سنة 1900 دعم ف . ف . بلاكمان ، نظريته حول الميول النباتية ، هذا المفهوم ، وجهد في اثبات التوازي الملحوظ في تطور الجذوع لدى الطحالب الخضراء ولدى الهيتيروكوتي . وبين التماثل في نمط الملون بين هذه وبين الفوشيريا ، المعتبرة كطحالب خضراء . في سنة 1901 حاول بوهلن ان يوضح مختلف السلاسل التطورية ، ابتداءً من الأرومات الهدبية ؛ وبجراحة أوجد مرتبة الفوشيريال داخل الهيتيروكوتي . وهي وجهة نظر لم تتم الموافقة عليها الا بعد نصف قرن . وفي الاخير أقر بلاكمان وآ . ج . تانسلي (1902) ، ثم ج . س . وست (1916) نظاماً فيما خصّ الكلوروفيسي ، يركز على أربع مجموعات تتمثل إحداها بالهيتيروكوتي ؛ فضلاً عن ذلك عادت الفوشيريا لتصبح من جديد من الكلوروفيسي .

وأدت أعمال كلييس (1883-92) إلى جعل الاوغلينات مرتبة من السوطيات أو الهدبيات . أما باشر (1931) فأعطاهما صف العرق الخاص ، ومن الجدير بالذكر ان هذه المجموعة من الطحالب تمثل تشابهاً وتقارباً مع البيروفييت التي يضمها شاديفو (1960) إليها .

وصنف علماء الطحالب الأولون ضمن صنف واحد اللصوقات والمشطورات . وفيما بعد ، وبعد اكتشاف القرابة بين ديسميديات مع سبيروجير ، اضطر العلماء إلى فصلهما (كوتزن Kutzin ، 1833) . وأوجد شاديفو فرعاً خاصاً لهذه الطحالب التي تتناسل جنسياً عن طريق التزاوج والتي يُعزى إليها عموماً مستوى المرتبة أو ما دونه . أما الدياتوميات ، فبعد أن الحقت بالفافيسيات (مع باشر 1914) فقد عثرت على مكانها الحاضر داخل الكريزوفيسيات . ان مجموعة شارا تطرح مسألة لم تحل . ويميل علماء الطحالب الحديثون إلى دمجها ضمن مجموعة الطحالب الخضراء وجعل منها فريتش واحدة من تسع مراتب دخل الفرع . ولكن التكوين الغريب لهذه النباتات المائية حمل بعض الباحثين منذ و . ميغولا (1890) على الاعتقاد بأن الكاريات والعائلات المتحجرة القريبة منها تمثل عرقاً واحداً .

الطحالب السمراء أو الكروموفيكوت - على العموم تُعتبر الكمية الضخمة من هذه

الطحالب (16 ألف نوع موصوف كلها تقريباً بحري) موزعة إلى عدة مجموعات طبيعية :
 فاوفيكوفيت ، كريكوفيكوفيت ، بيروفيكوفيت . ويوجد مع ذلك بين هذه الطحالب بعض القراية :
 خلانيا سابعة حاضرة عموماً ، انماط من الهدب (ج . ديفلندر ، 1934 ؛ ي . مونتون . وب .
 كلارك) وصيغ واحتياطات (لا وجود للنشاء الحقيقي) . وهي تتمثل هنا برتبة فرع ثانوي .

لقد اتسم تصنيف الفاوفيسي أو الطحالب السمراء ، بالمعنى الضيق ، بأثر اعمال هـ .
 كيلين (1917-1933) وفي السابق ارتكز هذا التصنيف على البنية وعلى اسلوب التناسل . ويفضل
 كيلين تم التعرف على مراتب جديدة واصبح مفهوم التناوب بين الاجيال ، معيار المفصليات
 الكبرى . ولقي هذا النظام الترحيب القوي وهو ما يزال قائماً الآن . ويوجد الآن من إحدى عشر
 إلى اثني عشر مرتبة من الفاوفيسيات .

إن معرفتنا المنهجية بالكريكزوفيسيات مدينة كثيراً إلى ف . فون ستين (1878) ، أ .
 ليميرمان ؛ ج . سين وخاصة كليس (1892) الذي حدد سماتها الرئيسية . وعلى كل إن العالم
 بالبروتستانت [وحيدات الخلية] الكبير آ . باشر هو الذي وضع التصنيف الحديث لمجموعة
 كريكزوفيسي ، وباسيلاريوفيسي (دياتوميت) . وفيما بعد لقد ثبت ووسع تصوره الذي أصبح الآن
 مقبولاً بوجه عام . ومن جهة أخرى ، استعاد باشر وطور افكار بلاكمان (1900-1901) وافكار آ .
 شيرفل حول السلاسل التطورية الموازية المنبثقة عن جدود من الهديات . وقد نصّب نفسه المدافع
 عن افكار باهرة مثل الاصل الكريكزوفيسي في الحياة الحيوانية ، بعد خسارة في البلاستات
 والأهداب . ومنذ زمن بعيد تمت الموافقة (ج . غرونو ، 1860 ؛ و . كرشنر ؛ ف . شوت ، 1896)
 على نسمة المشطورات إلى فئتين كبيرتين طبيعيتين (مركزية وهامشية) المرتكزة على تناظر
 الاجسام . ان باشر هو الذي كشف القربى بين المجموع . والتعديلات الحديثة في تصنيف
 الكريكزوفيسي الذي قال به باشر (ب . بوريلي ، 1957) ، واكتشافاته حول التعاطي الجنسي
 (ستوش ، 1951-1954) تدل على ان الكريكزوفيكوفيت ما تزال غير معروفة تماماً .

إن الفيروفيسي أو الدينوفيسي هي طحالب وحيدة الخلية ذات لون اسمر ذهبي أو ميل إلى
 الاخضرار ، تتميز في أغلب الاحيان بأهداب بطنية ذات ترتيب خاص وبنية فريدة في النواة ؛
 والتناسل الجنسي فيها غير معروف الا في نوعين . وعرف كليس Klebs (1883-1892) منها سمات
 أساسية ثم بين وجود أشكال منها متحركة (1912) . وكشف باشر عن قرابة بين عدة مجموعات
 وأسس مجموعة البيروفيت (1914) . ودل مجموع مهم من البحوث البيولوجية والمنهجية (ك . آ .
 كوفويد Kofoid ، الخ .) على الاهتمام الموجه إلى هذه الاجسام . ولكن بعض المجموعات
 منها ما تزال مكتنفة بالغموض .

الطحالب الحمراء أو رودوفيكوفيت - في هذه الطحالب يقنع الكلوروفيل بصيغ بروتيني
 قابل للذوبان في الماء ، هو الفيكوريترين ، وأحياناً بصيغ آخر هو الفيكوساينين . انها اجسام
 جذرية وحيدة الخلية احياناً منتشرة كثيراً في البحار الحارة . واشكالها العليا ، معقدة جداً ، تتفرد
 بأساليبها وطرقها التناسلي : فلا خلانيا هُدبية على الاطلاق ، جهاز تناسلي انثوي ضمن تنظيم

معقد ، دورات غالباً ما تكون من نمط جديد .

إن الترتيب المنهجي لهذه الطحالب (حوالي ثلاثة آلاف نوع) إرتكز في القرن التاسع عشر على أعمال أغارد (Agardh 1842) . ومع ك . ج . ف . شميز (1883) ، والاعتبار الموجع نحو علم الالجنة (خاصة اكتشاف الخلية المساعدة) بدأت حقبة عصرية متممة بعمل هـ . كيلين (1937-1956) . والتصنيف يرتكز الآن على السمات المستمدة من بنية ومن تطور الكاربوسبوروفيت ومن نمط دورة التناسل . في سنة 1892 كان شميز يعرف أربع مراتب . وبعدها وُجدت ثلاث أخرى . وفي سنة 1881 بين ج . برتهولد أن الطحليات من مجموعة بانجيا تنتمي إلى الطحالب الحمراء ؛ واعطاها اولتمنن مكانة العرق ، أما اليوم فتعتبر إحدى الفروع الكبرى في شعبة الطحالب الحمراء .

5- علم الفطريات (ميكولوجيا)

إن علم الفطريات هو علم جديد ، في أوج تطوره . وبدون شك فقد تشعب إلى مجالات أصبحت مستقلة بسرعة : منها الفيتولوجيا ، والميكولوجيا الطبية ، والبكتريولوجيا (في قسم منها) حيث فتح آ . فليمينغ Fleming الفصل العجيب ، فصل المضادات الحيوية . ولكن كم من تيارات جديدة أو متجددة ، ذات أهمية بالغة لم تشكل منذ عشرات السنين ومنها الفيكوميسيت البحرية (ف . ك . سبارو ، 1943) ، اتنوميكولوجيا أو علم أجناس الفطريات (ر . أ . شولتز ، 1940 ؛ ر . ج . واصون) ، فطور مولدة للملوسة وفطور بسيلوسينية (ر . هيم ، 1959) ، وسائل لاقتناص الطرائد في التربة ، والفطور البوغية (آ . هـ . ر . بولر 1909-1950 ؛ ك . ي . انغولد) ميكوريزس ، وسانيوز أو تكافل (أ . ميلن ، 1917-1948 ، ر . هيم ، الخ) ، وراثية (ب . و . دودج . ك . ك . لينديجرين ، الخ) .

ومن وجهة النظر المنهجية يصعب استخلاص تيار عام لأن المؤلفين المعاصرين لم يتفقوا فيما بينهم ، كما لم يتفق العلماء في الماضي . إن الفروع الكبرى العرقية لم تثبت بعد بقوة ، وقد تم حديثاً إعادة ترتيب منهجية على نطاق واسع . إن المنهجية الصحيحة بشكل كافٍ والمستقرة لا يمكن أن تكون وليدة علم فني ؛ وهي هنا فضلاً عن ذلك صعبة بشكل خاص لأنها تركز على معرفة الوظائف وعلى معرفة البنيات المتناهية الصغر . إن كتب أ . آ . غومان (1926 ، 1949) وكتب أ . آ . ييسي (1935 ، 1950) وكتب شاديفو 1960 تدل تماماً على هذا التقيد .

وتشير الكتب المتوسطة عموماً إلى خمس فئات كبرى من الفطريات هي : الميكزوميسيت ، الفيكوميسيت ، الأسكوميسيت ، البازيديوميسيت ، « فطور غير مكتملة » .

وحالة الميكزوميسيت (هذه الاجسام الغريبة ذات الجهاز النباتي المكوّن من كتلة بروثلاسمية عارية تسمى يلاسمود) تدل تماماً على مدى اتساع الاختلافات بين المتخصصين . ومنذ آ . دي باري (1858) ، الذي وضعها خارج المملكة النباتية ، تمّ التخلي عن هذه المجموعة إلى علماء الحيوان ؛ أو اعطيت مكاناً مستقلاً تماماً داخل التالوفيت أو النباتات المشريات . والعديد

من الباحثين امثال شروتر (1897)، غوين - فوكهان وبارنس (1927)، آ. آ. بيسي (1950)، الخ، يقفون إلى جانب باري. ومع ج. ك. سميت (1938)، أعيد ادخال الميكروميسيت ضمن الفطريات كعرق مواز للأوميسيت (فيكوميسيت، أسكوميسيت، بازيدوميسيت). وربطها شاديفو (1960) بالفيكوميسيت، ثم جعلها، سنداً لفكرة ف. مور، عرقاً هو عرق الفيكوميكوفيت أو الفطريات ذات البوغات الحيوانية أو زوسبور، وهو مجموع يمكن أن يتفرع من الطحالب السمراء أو كروموفيكوفيت. كل الفطور الخالية من البوغات الحيوانية (أسكوميسيت؛ بازيدوميسيت، زيغوميسيت)، تشكل العرق الثاني: عرق الميكوميكوفيت. وقد نجح آ. ل. كوهن في زراعة نقية لبعض أنواع الميكوميسيت. وبعد ذلك تقلعت معرفتنا بهذه الاجسام كثيراً، وجذب هذا المجموع انتباه البيولوجيين بشكل مستمر؛ في سنة 1960 بين ج. و. مارتين ان هذا المجموع يرتبط بشكل أفضل بالفطور أكثر من ارتباطه بوحيدات الخلية (بروتوزوير).

إن الفصل المقرر بين الفيكوميكوفيت والميكروميكوفيت يتضمن أيضاً تغيراً عميقاً في إعادة توزيع الزيغوميسيت، التي كانت عموماً تُصنف ضمن الفيكوميسيت. ان تطور البحوث في هذا المجال (سبارو Sparrow، 1943) أوحى بالتكهن بالانقلابات العميقة التصنيفية، ورأى غومان (1949) ارومة الفطور العليا في الزيغوميسيت. ومع شاديفو أصبحت الزيغوميسيت فطوراً عليا.

وهناك عدد كبير من الاعمال خصص للفطور العليا بالمعنى الكلاسيكي (اسكوميسيت وبازيدوميسيت): نباتات (سيلوج فونفورم، 25 مجلداً، 1882-1931، للمؤلف پ. آ. سكارودو؛ كرييتوغامن فلورا للمؤلف ل. رابن هورست، 1884-1938؛ دي ناتورليشن فلنزن فاميلين؛ كرييتوغامن درمارك برندنبورغ للمؤلف ج. ليندو. پ. هنتفس، الخ)، دراسات خاصة، دراسات مورفولوجية وبيولوجية. وقدموا انجازات مهمة في معرفة هذه العروق، ولكنهم لم يسمحوها بربط هذه، ثم استخلاص السمات الكبرى لنظام اجمالي.

ويوجد في أيمان مدرستان كبيرتان، بما خص أصل الفطور العليا. فالبعض يرى أنها: المجموع الوحيد الجذر (مونوفيلتيك) الذي ينشأ انطلاقاً من الفيكوميسيت (التي تُشتق من الطحالب أو من الهديات، باري؛ دانجار؛ غومان، 1926). وبالنسبة إلى الآخرين، وعلى اثر افكار ج. ساكنس (1874) اعتبر الاصل بوليفيلتيك انطلاقاً من الطحالب الحمراء (ب. و. دودج، 1914؛ ه. س. جاكسون؛ بيسي؛ شاديفو، الخ).

إن الفطور «غير المكتملة» هي اجسام نهجل تنزاوجها الجنسي وإذاً فتصنيفها لا يكون الا مصطنعاً؛ ونشير إلى انها تمثل أكثر من 1300 نوع (ه. ب. بندر 1931) ومنها كثير له أهمية عملية كبيرة.

بازيدوميسيت - هذه الطبقة تعرف بأنواعها الصالحة للأكل أو المميزة: هيمينوميسيت (غارقونيات، سيس، الخ) أو غاستيروميسيت (فطر الذئب) الخ. وينطلق الفكر الحديث حول هذا الموضوع من أعمال السويسري ف. فايود، وهو منشأ علم الاجنة لدى الفطور العليا، والفرنسي ن. باتويار، المؤسس الرئيسي لتصنيفنا الحديث.

إن أعمال و. بريفلد (انطلاقاً من سنة 1881) وأعمال فان تاينغ (1893)، وبحوث پ. ساين تروفي (1892) حول الفطور، وبحوث ر. آ. هاربر (1898-1902) أقرت القرابة (التي ارتأها آل تولان) في الاوريدينال- اوستيلاجينال وبازيديوميسيت. واكتشف و. جويل (1916، 1986) مير معياراً فطورياً استعمل كثيراً وهو: الاتجاه في الضمة النووية اثناء التناصف داخل الركيزة. ويرتكز نظام فريس بشكل خاص على شكل «الهيمينيوم»: وهي فطور ذات شفرات (آغاريسيني) وذات انابيب (بوليوري) وذات ابر (هيدني)، وذات سطح أملس (كلافارية). ولكن بعد 1887 ناهض باتوليار هذا التصور فقد رأى وجود بازيديات متنافرة (بازيد ذات خلايا متعددة) وبازيديات متوالفة (بازيد وحيدة الخلية). ان البوليوري والآغاريسين والتيليفوري والكلافاري هي عائلات من نفس المجموعة الطبيعية. ان القرابة العميقة رغم التباين الظاهري قد كشفت: فعند البعض منها يكون الهيمينيوم طرياً (صفيحياً أو مثقباً) وقابلاً للانفصال، وفي الأخرى يكون الهيمينيوم ليفياً وغير قابل للانفصال. في سنة 1900، انفصلت عائلتان من البازيديات المتألفة هي أفيلو فورال (هيمينيوم عاري نمو بلا حدود)، والآغاريسيني (غشاء عام زائل وهيمينيوم محدد). تلك هي الأمس التي سوف يبنى عليها، خاصة في فرنسا (اكتشاف الأنجيوكاريي الكاذبة لدى البولت (ر. كوهنر، 1926)، ثم الروسول، (ر. هيم Heim، 1936)، احد الفروع الأكثر أصالة في علم الفطريات الحديث. ان الأعمال حول علم الفطريات وفي التحليل الدقيق والمورفولوجيا المقارنة والتجريبية قد أُناحت رسم السمات لتصنيف متجدد بشكل كامل (ر. هيم، 1931، 1960): ان المجموعة المتنافرة من الغاستيريوميسيت، تشق جزئياً، وبسبل متنوعة، من الآغاريكال. وهذه النظرة التي تتعارض مع نظرة ر. سنجر- يجب أن تؤدي إلى تجزؤ «الغاستيرو-ميسيت» التي يتركز تصنيفها على أعمال ه. لوباغ (1924-1934) وأعمال أ. فيشر (1933).

أما فيما يخص البازيديوميسيت المختلفة الركائز (مثل اوريدينال والوستيلاجينال والاوريكولاريال، ونريميلال، الخ.) فقد خصصت لها نشرات عديدة، ومع فطور الصدا والفحم أصبحنا في قطاع مهم جداً من الفيتوباتولوجيا أو علم الأمراض الفطوري، في حقل من البحوث غني جداً على الصعيد البيولوجي العام. ان مسائل التناصل المتعلقة في البوكسينامي بشكل خاص قد فتحت المجال أمام اكتشافات مدوية (مس. ر. ف. آلن، 1928-1935، ج. ه. كريجي، 1927؛ ك. أ. اندروس، 1931-1933) وبين 1904 و 1907 بين ف. ه. بلاكمان وآ. ه. كريستمان وجود تناوب حقيقي بين الاجيال. وكذلك هناك سلسلة من الاسماء لا تفصل عن البحوث حول الفحوم (بريفلد، 1881-1912؛ ف. روتشر؛ أ. بارافيسيني؛ ه. س. جاكسون؛ و. ف. هتا؛ ه. كتيب. ج. ي. ليرو، 1935-1938؛ الخ.) وعلى الصعيد التصنيفي بين ك. پ. پلورايت (1889) التماثل الاساسي بين البروباميد (تيلوسبور) عند الاوريدينال والوستيلاجينال. وهناك مسألة من أكثر المسائل أهمية طرحها وجود العديد من الاعراق لدى بعض الأنواع مثل البوكسينيا غرامينيس (ج. إريكسون، 1894، 1928، م. أ. كارلتون؛ إ. ك. ستاكمان). وبين و. ك. ووثر هاوس (1929) ان بعض الاعراق الجديدة تتج فيها عن عملية تهجين.

اسكوميسيت أو الفطريات الزقية - في أواخر القرن التاسع عشر ، واستناداً إلى بنية الاثمار ذات الخلقة الأم ، تميزت أربع مجموعات عامة هي : الليشن وتعيش بالتكافل مع اشنات المياه المحلوة ؛ ديسكوميسيت ذات هيميتيوم خارجي وفي أغلب الأحيان ملاصقاً لجهاز ضخّم بشكل صحن أو مطرقة (ييزيز ، موريل ، هلفيل الخ) ؛ بليكسانيني أو بيرينوميسيت ذات هيميتيوم داخلي ضمن جهاز يسمى الجراب (بريتيس) . وفي العقود الاولى من هذا القرن قُدم العديد من المعارف الجديدة حول هذه المجموعات بفضل السويدي ج . آ . نانفلدت (1932) .

ومنذ 1900 ركز أ . ج . دوراند على البنية الداخلية في الثمرة لدى اليزيزال . واعتُرف أ . بوديه (1879-1907) بقيمة تصنيف السمات المتعلقة بـإنتحاجية الجيب ، وقسم الـديسكوميسيت إلى اوركولي وإينوركلي (مجموعة متافرة وغير معروفة تماماً) ، وفيما بعد ركز العلماء انتباههم على التحليل الدقيق للبوغات والجيوب (شاديفو Chadeaud ، 1942-1944 ، م . لوغال Le Gal) . وأدت أعمال فون هوهنل (1902-1923) ، ف . تيسن ، ج . أرنوه ، ج . مولر ، نانفلدت (1932) Nannfeldt ، إضافة إلى اعمال أ . ج . هـ . كورنر الجينية بشكل خاص ، إلى تصور جديد للثمار ذات القبعات . وميّز نانفلدت أثماراً اسكولوكولية (بيرى نوميست) ، وأثماراً اسكوهيمينية (ديسكوميسيت وبيري نوميست حقيقية) ، وأثماراً للبيكتاسكال التي هي بيريتيس مزورة . وبدت معايير نانفلدت Nannfeldt في أغلب الأحيان صعبة الاستعمال ، ولكن أ . س . لوتربيل (1951) اكتشف علاقة مهمة في بنية التبعة أو الغلاف . وترك هذا التصنيف في الخارج بعض ثلثات خاصة مثل الخمائر أو اللابولبونيئات .

ونذكر بين الاعمال التصنيفية الأكثر فائدة ، أعمال ر . تاكستر حول مرتبة فريدة هي مرتبة اللابولبونيئات ؛ وأعمال ف . و . زوف وأعمال ف . توبلر وآل مورو حول الأشنات ؛ وأعمال مس . هـ . جلجي حول التويرال .

فيكوميسيت - ان عدداً كبيراً من هذه الفطور (اوميسيت) هي ذات حياة مائية وتتكاثر بواسطة خلايا سباحة ؛ والأخرى (زينوميسيت) محرومة من خلايا سباحة . وفي الصنفين ، يتمثل الميسيليوم بأنابيب أو « خيوط فطرية » ، بدون حواجز خلوية بينها ، وهي تحتوي على العديد من النوى .

في أواخر القرن التاسع عشر كان اهم انماط هذه المجموعة معروفاً (شتيريدال ، موكورال ، انتموفتورال ، بيرنوسبورال ، سايرولينيال ، مونوبليفايردال) وهذا التصنيف هو الذي كان سائداً . وجدوى بعض الوقائع قد اتضحت سابقاً ، مثاله اوغامية المونوبليفايرس (م . كورنو) [البويضات الانثوية] .

ان حقل البحث قد اتسع بسرعة . ودلت الاعمال الحديثة (انغولد ، 1951-1955) على ان المسكن المائي كان هو أيضاً القاعدة بالنسبة إلى بعض الاسكوميسيت ، وإلى « الفطور غير المكتملة » . وفي سنة 1925 امتدأ . شيرفل إلى نمط الهدب في الخلايا التناسلية ، فميز بين الفيكوميسيت المائية ، الشتيريدال (وهي أسلاف وحيدة الهدب) والسابرولينيال - بيرنوسبورال (أسلاف ثنائية الهدب) . وكان الطريق قد فتح امام تقدم العلم المعاصر . وادخلت بحوث ف .

ب . كوتنر (1930) ، ك . ر . دريشلر ، ج . ن . كوش ، و . ه . وستون وسپارو (1943-1959) ، تصوراً متجذراً يركز على نمط الزوسبور وعلى السكن ؛ ان اختلاف طبيعة المجموعة قد ثبت .

IV - التناسل

أعطت المعارف المكتسبة في الربع الأخير من القرن التاسع عشر ، فيما يتعلق بالبيولوجيا النباتية ، وفي الجنس والوراثة في المملكة النباتية ، لهذه الحقبة أهميتها المميزة . فمنذ 1900 ، وبعد إعادة اكتشاف قوانين مندل وأعمال وايسمن Weismann ، ارتسم تواصل سوف يكون حاسماً ، بين علمين مفتاحين : علم الخلايا وعلم الوراثة . ومع نظرية « شيا سماتا » (ف . أ . جانسنس ، 1909) ونظرية كروسنغ - أوفر « العبور » (ت . ه . مورغان ، 1912) ، تمت خطوة كبيرة باتجاه التركيب أو الدمج الذي أوضحه كتاب ك . د . دارلنغتون وعنوانه « التقدم الحديث في مجال السيتولوجيا أو علم الخلايا » (1932) . ان البحوث الاساسية التي قام بها ك . ب . بريدج (1916-1920) ، وويلينغ تعود إلى علم الخلايا الوراثي (سيتوجنتيك) الذي أوضح ظاهرة الجنس ، جاعلاً من التخصيب عملية مخصصة لانتاج التبادل المادي بين اجزاء الصيغيات : « إعادة الدمج الجيني » . اما التناصف فمن نتاج استحداث الغاميت المختلفة النوعية في كل جيل . وبواسطة التخصيب تشكل افراد مزدوجة واصلية وراثياً . تلك هي حال القانون العام كما بدت . كان وايسمان على اثر اعمال أ . رو Roux (1883) ، وقد ارتكز على اساس نظري خالص ، قد حدد العملية الجنسية وكأنها مخصصة لادخال التنوع في الوراثة عن طريق اختلاط التغيرات الفردية ، مع الاتصال بالانتقاء الطبيعي . وبين داروين بعد كولروتر (1763) وك . سبرنجل بان الاساليب الأكثر تنوعاً تستخدمها النباتات لكي تقطع الطريق على التخصيب الذاتي ، ولتسهيل عملية التخصيب بالتلاقي . ولم تفته دلالة الظاهرة : في التخصيب في التلاقي تثر البزور على قدرة توليدية افضل : فهي أكثر عدداً ، واقل ، واذا فهي ذات قيمة انتقائية أكبر في عملية التطور ، على الأقل في العديد من الاوساط .

ان اكتشافات داروين ، واكتشافات ه . مولر (1873-1881) وكتاب ب . كنوت Knuth الموسوعي (1898) طرحت ركائز اجد الحقول الأكثر انفتاحاً في العلم المعاصر ، حيث سوف تسجل اعمال جميلة جداً مثل اعمال كرونزفون ماريلون (1913) وو . پورش (1922) . أو عمل ك . فون فريش المتعلق بعلم الحشرات . منذ 1908 (أ . ايست) و 1909 (ج . ه . شول) ، أكد التحليل الوراثي للتلقيح الذاتي المغاير المضرة لهذا التلقيح ضمن بعض الشروط . ولكن سرعان ما انصب انتباه البيولوجيين على المسألة العامة مسألة أليات التناسل . فالتفسير في ضوء النيو- داروينية ، ليس فقط الاختصاب الذاتي والاختصاب المتقابل (التبادلي) بل وأيضاً كثرة الصيغيات (المكتشفة سنة 1907) والاختلاط (و . جويل وس . نوريك ، 1900) ، الخ . تلك هي تيارات البحوث الاساسية في العلم المعاصر ، التي بها ترتبط اسماء عظماء من العلماء (دارلينغتون ، ك . ماذر ، ج . ل . ستينس ، آ . غوستافسون ، الخ) . ان الدراسة المقارنة لانظمة التناسل ، تبعاً للإمكانة ، المطبقة منذ حوالي عشرين سنة ، ادت الى تشكل فرضيات ذات

جدوى متناهية تتعلق بولادة الجنس وتطوره . ان الظاهرات الملحوظة لدى البكتيريا ، ذات البنية النووية القليلة التنظيم (أ . لووف Lwoff ، 1943) قد أتاحت رؤية تصور جديد للظاهرات النووية ، خاصة ان اعادة الامتزاج الجيني الوراثي ، قد لوحظ وجوده في هذا الامتزاج ، بل تم اصطناعياً (1955) . وهكذا فان الاتصال الضروري بين الجنسية (sexualité) وبين التنظيم المعقد ، والمكتمل لنواة النباتات العليا ، يبدو مزرعاً :

وهناك سوابق اكثر بدائية بكثير ، ولكن ليست اقل وظيفية ، ولا اقل انتقائية ، على مستوى آخر (سابق على الجنس ربما) .

تشكل النباتات الزهرية مجموعة ملفقة من حيث وحدتها ؛ ان مفاهيم : الزهرة ؛ التزاوج التبادلي ، والتلقيح ، والبزرة ، ليست موجودة في أي مكان آخر في العالم الحي . وداخل النباتات الزهرية ليست فراصة عاريات الزهر أقل وثوقاً : ان التخصيب المزدوج ضمن حقي جنيني وهو في اغلب الاحيان ثماني النوى ، وتشكل الثمرة هي ظاهرات غير معروفة في الدرجات السفلى من الهرم التصنيفي . ان الكثير من الاعمال قد تناولت هذه المسائل ، وانتهت بتزايد ضخم في معارفنا : احداث جديدة ، ولكن أيضاً فهم صحيح للاحداث .

ولدى الاجسام الدنيا كالطحالب والفطور ، حيث بدا الجنس متنوعاً تنوعاً غريباً ، كان التقدم اكثر بطئاً بكثير ، حيث كان البحث يهدف بشكل خاص الى الاستكشاف ، والى التعريف والتصنيف ، دون اغفال الهدف الاخير وهو وضع نظرية عامة حول التناسل .

الطحالب - منذ سنة 1856 حاول برنغشايم ان يُشمل الطحالب بنظرية تناوب الاجيال ، الموجودة لدى النباتات العليا ، والموضوعة من قبل هوفمستر ، النظرية التي تعلن ان النمو الوراثي الفردي في نبتة ما يتم وفقاً لدورة مؤلفة من مرحلتين : الاولى لا جنسية منتجة لبوغات (سبورات) وتسمى « سبوروفيت » [النبتة قبل الخلوية] ، والاخرى جنسية منتجة للغاميت [النبتة الغاميتية] . وبعد اعمال أ . ستراسبورغر (1893) الذي اعطاها اسماً خلواً ، ظهرت نظرية تناوب الاجيال كدعامة من دعائم البيولوجيا الحديثة : فالسبوروفيت الثنائي الصبغيات المتأني عن تبرعم الزيفوت ، يفرز البوغات « سبور » الهولدية التي منها تتولد النباتات الغاميتية (غاميتوفيت) ؛ والنصف وتزاوج النوى (كايوغامي) ينظمان هذا التناوب .

في سنة 1850 و 1900 كانت البحوث المتعلقة بالجنسية لدى الطحالب في منتهى النشاط والخصوبة ، فادت بشكل خاص إلى اكتشافين كبيرين جداً : الاخصاب (تورت-وبرنغشايم ، 1853-1855) تزاوج النوى النباتية (ك.ج. ف. شميترز ، 1879 ج . برتهولد 1881) . انما توجب اكثر من نصف قرن من البحوث حتى امكن تقديم البرهان الحاسم على وجود تعاقب بين الاجيال في هذه الاجسام . وفي سنة 1897 ، ظهرت الدراسة الاولى الصبغية وتناولت طلباً ، فوقساً ، وهو نوع كان معروفاً يومئذ بأنه ثنائي الصبغات (ستراسبورجر) ؛ ولكن في سنة 1909 فقط استطاع س . يامانوشي ان يوضح مكانة التنصف في الدورة .

لا شك ان ملاحظات ج . رنكي Reinke (1878) وپ . فالكنبرغ (1879) قد ادت الى الاستنتاج بان الطحالب السمرء من النوعين كوتليريا واغلا وزونيا ، المعترين مختلفين ، يمثلان جيلين من نفس الدورة ؛ ولكن هذه الواقعة لم تثبت على اساس كاريولوجي الا حوالي سنة 1910 (س . يامانوشي) : ان الكوتليريا هي النبتة الغاميتية أحادية الصبغة (أو الثنائية) ؛ والاغلاوزونيا هي نبتة سبورية ثنائية تنتج السبورات الحيوانية ؛ ان النبتة هي مزودج مختلف الشكل ؛ والجيلان يختلفان الواحد عن الآخر من ناحية مظهرهما الانبائي . وج . ل . وليامس هو الذي بين بين 1897 و 1904 وجود تناوب عند الطحالب . وقد اثبت اعماله انه في الديكنيوتا (طحلب اسمر) ، تبدوا النباتات الغاميتية الوحيدة الصبغة (والثنائية الصبغة) متعاقبة مع النبتة السبورية الثنائية ، والاثنان يرتديان بنية إنبائية متماثلة (دييلوبيونت ، أبزو - أو هومو مورفيك) وقد أدهش هذا الاكتشاف العلماء ؛ فالدورة تتضمن نبتتين مستقلتين ومتماثلتين إنبائياً بآن واحد .

في سنة 1905 اثبت ك . أ . الن ان التنصّف يتم عند تبرعم البضة في غمديات الهلب (طحلب أخضر) ؛ والجيلان في هذه الحالة هما وحيداً الصبغة بشكل كامل ، ولكنهما يختلفان الاول عن الآخر نباتياً . ودعت الوقائع إلى إعادة النظر بشكل عميق في النظرية من حيث تطابق المراحل الخلوية وتطابق الاجيال . ولم يكن هذا الا خطوة اولى .

ومنذ سنة 1906 لحظ يامانوشي التنصّف في طحلب احمر هو بوليسيفونيا فيولاسي حيث يلتقي نمطان من النباتات السبورية : الكاربوسبوروفيت ، الملتصق دائماً بالغاميتوفيت ، والتراسبوروفيت المستقل . ويوجد لدى بوليسيفونيا تناوب بين ثلاثة اجيال ، اثنان منها مستقلان : وحده الغاميتوفيت هو وحيد الصبغة . ثم جاءت اكتشافات يامانوشي حول الفوقس وحول الكوتليريال ، واكتشافات ن . سفيديليوس ، سنة 1915 حول سينايا ، وهو طحلب احمر بدون تراسبوروفيت ، وفيه يحدث التنصّف في الحال بعد التخصيب . وفي سنة 1915 أيضاً حدث الاكتشاف الذي حققه عالم الطحالب الفرنسي ك . سوفاجو Sauvageau حول التناسل وحول دورة « رقاقة نافهة » هي ساكورهيز بولبوزا ، التي هي في الواقع دييلوبيونت هيتيرومورفيك تشبه السرخسيات .

ان بحوث سوفاجو ، التي وضعت موضع التنفيذ طريقة انيقة في التجزيع ، قد تعممت لتشمل أنواعاً أخرى . وبخلال عشرينين فتح حقل واسع من البحوث سوف يصبح متناهي الخصوبة . وبشكل خاص قدم السويدي كيلين مساهمة لا نظير لها في معرفة الدورات في الطحالب السمرء والطحالب الحمراء .

داخل هذا التنوع الذي يفوق التصور اتموجود داخل هذه الاجسام منذ نصف قرن تم الكشف عن حالة من الحالات التي يجدر ذكرها ، من قبل ج . وج . فلدمان (1942-1952) . بين هذان الباحثان ان البرنيميزونياسي المعروفة ليست الا غاميتوفيت نوعية صنف التراسبوروفيت منها حتى ذلك الحين كأنواع متميزة من فصيلة أخرى ثم عُلم (ف . مانيه ، 1960) ، ان هذه التراسبوروفيت ، وهي نباتات ليلية قزمة ظلت منذ سفيديليوس (1933) انها أحادية الصبغة ، هي مشنوية حقاً .

ويين. فلدمان (1950-1954) بعد ب. كورنمان (1938) الدورة المتباينة الشكل، في بعض المطحالب الخضراء البارزة. هذه الاعمال المتنوعة أدت الى تقرب بعض الااليات التطورية المرتكزة على استقلالية المراحل والايال : تغير مكان التنصف ، انقطاع الدورات نهائياً .

وفي مجال آخر تجب الاشارة الى تجارب م. هرتمان وتجارب مويس. منذ 1923 اصدر هرتمان الفرضية بان كل الغاميت تمتلك بآن واحد القدرتين الذكورية والانثوية ، وتسيطر احدهما على الاخرى فتحدد الجنس . واتاح هذا التصور تفسير بعض الظاهرات الجنسية النسبية ، مثل اتحاد غاميتين من نفس الجنس في طحلب اسفر (اكتوكارپوس) وفي كلاميدوموناس اوغاميتوس (مويس 1939, Moewus). بين مويس وهو يتابع استقصاءاته فيما يتعلق بالمواد الجنسية المفروزة من قبل الغاميت ، والمتحركة بالجنسية النسبية ، ان العملية الحاصلة تعود الى تفهقر الصبغي الجزري (Caroténoïde) ، وان عند كل محطة من محطات التفهقر تنصرف المادة المصنوعة بشكل خصوصي لكي تنشط التحرك ، وتطلق جذب الغاميت ، أو تنوع الجنس . ونجب مقارنة هذه النتائج بنتائج ج. ر. راير (1951) حول الهرمونات الجنسية في الفطور .

الفطور - في دراسة الجنس عند الفطور فتح القرن العشرون على اعمال اساسية قامت بها المدرسة الفرنسية : منها اعمال ب. أ. دانجار وساين - تروفي ، ر. مير ، أ. غيليرموند .

وتعارض اعمال دانجار (1894) حول جنس الفطور العليا (اسكوميسيت ويازيديوميسيت) مع وجهات نظراً . بريفلد وترسم منعطفاً في البحث . كما تقدم البرهان على الذويان النووي في التجويف أو الكيس وفي الدعامة (باميد) ؛ وهي تؤكد المعنى الجنسي ، وأيضاً العمومية الكبرى في الفطور العليا . في « الذويان الدانجارد » تشبه النوى المتزاوجة الغاميت . ومنذ 1895 وصف ر. أ. هاربر « زواجا نووياً » اخر لدى الاسكوميسيت ، فاعتبره هو اندماجاً حقيقياً بين الغاميت ، وانه ابر من الزواج الذي رصده دانجار . ويعتقد عموماً (كلوسن ، 1912) ان الظاهرتين تمثلان حدود تفاعلية مستطيلة تبدأ بتراكم النوى الذكورية والانثوية وتنتهي لاحقاً بالاندماج أو الذويان .

وقد تناول العمل الرئيسي الذي وصفه غيليرموند (1902-1940) الخمائر التي بين باستور انها كائنات حية . وكان الرواد الكبار في دراستها التصنيفية هم م. ريس (1870) وأ. هانسن (1879) . واكتشف غيليرموند الجنس عندها الذي يظهر بعدة اشكال متميزة تماماً . وهذه الاعمال الرائعة حملته على وضع تعريف دقيق لطبيعة وتصنيف الخمائر الحق ، وهي أجسام مستقلة - اطروخة أ. هانسن - وليست مجرد مرحلة في نمو الفطر الاعلى (والذي تبدو قرابته الجزئية مع الاسكوميسيت ثابتة تماماً) .

الواقع انه قد ثبت التنوع الكبير في الدورات لدى الفطور وقد امكن تمييز سبع من هذه الدورات (راير ، 1954) ومنها دورة كاملة أحادية الصيغة (فيها يأتي التنصف مباشرة بعد ذويان الخلايا الجنسية ، وهي حالة نكر في الفيكوميسيت والاسكوميسيت البدائية) ودورة ثنائية خالصة (بعض الفيكوميسيت والخمائر) .

وابتداءً من سنة 1904 ، وابتداءً من اكتشاف قام به الأميركي أ. ف. بلاكيللي ، اكتشافه للهيتيروتاليسم [اختلاف انعدام الأوراق والساق] لدى الموكورال (فيكوميسيت) ، تحقق حقل ضخم من البحوث . ومنذ أعمال بريفلد تطورت تقنية الزراعة للبذرة الوحيدة ، ولكن تعميمها اصطدام في بعض الحالات ، كما في « ريزوبوس نيغريكانس » ، بفشل متكرر . بين بلاكيللي انه لدى هذا النوع ، وقد سماه « هيتيروتاليك » ، تتوزع المشرة [جسم نباتي ليس فيه محور مركزي] المتشابهة ظاهرياً ، إلى فئتين فيزيولوجيتين رمز إليهما بالعلامة + والعلامة - ، والتزاوج لا يتم الا بين مشراتٍ منبثقة عن بوغات من علامات مختلفة . وتولد السيورودينيغرانديس المسماة هوموتاليك بوغات ذات طاقة مزدوجة .

ووجدت الهيتيروتاليسم (اختلاف المشرات) لدى الاسكوميسيت ولدى البازيديوميسيت . وفي سنة 1924 بين ه. بورجف Burgeff انه لدى الموكورال هيتيروتاليك يتم التمايز بين البوغات + و - في جيب البوغات البرعية المنبثقة عن الزيفوت ، وينسب متساوية تماماً ؛ وتبرعم كل بوغة فتتحول الى مشرة من نفس العلامة . وفي بعض الاحيان يتم انفصال البوغات داخل الزيفوت ، ويستقطب السيورونجيوفور الذي يحمل جيب التبرعم باتجاه العلامة + أو باتجاه العلامة - . وبينت بحوث الهيتيروتاليسم أن هذه الظاهرة مختلفة عن العملية الجنسية ، وانها قد تحل محلها أثناء عملية التطور . وفي الاسكوميسيت ذات المشرة الخشوية ، لا يحدث التزاوج إلا بفعل العامل A و a ، المختلفي الجنس واللذين يفرقان بين المشرات (تال) وشكلان « عشائر جنسية » .

من الثابت الآن ان تحديد الهيتيروتاليسم هو فطبيعة وراثية ، ، ويعود الى التفسير المنطلي . وتوصل دودج (1927) حين ادخل عوامل تمييزية عملية الى توضيح السلوكات المختلفة للمشرات (هيتيروتاليك) لدى النورومبورا . ودراسة الهيتيروتاليسم عند البازيديوميسيت قد اثبتت تعقيد هذه الظاهرة ، ومن النتائج الاكثر اهمية كان توضيح الظاهرة المسماة الاستقطاب الرباعي (قائد ندريز ، 1922 - 1937 ؛ كتانيلها) : اربعة عوامل مندلية ، وليس اثنين كما هو الحال في الاسكوميسيت ، تتحكم بعملية اختلاف المشرات (هيتيروتاليسم) .

وهكذا ، في الفطور كما في النباتات العليا ، توجد تناقضات ذات حتمية وراثية تتراكم فوق الجنس بالذات ، فتوجه تناسل النوع ؛ ولكنها هنا في اغلب الاحيان اقل فعالية (وذلك من جراء اهمية التوحيد) . ويوجد لدى بعض الفطور (الحُمَر) معادل للتلاقح بالتلاقي ، حيث تقوم حشرات بالتخصيب داخل نفس النوع (ج . ه . كريجي ، 1927) . ان التناسل الجنسي لدى الفطور كما لدى الاجسام العليا ، هو في اصل التمييز والانفصال وفي اساس التزاوج الجيني حتى في الاجناس الوحيدة المشرة (هوموتاليك) (لان الافراد فيها مختلفون وراثياً) .

وتعرض بعض الفطور ظاهرات فريدة ، مثل الهيتيروكاريوز الذي يتم بالاندماج اللاجنسي بين « الخيوط المشيجة » ، وأخيراً باتحاد النوى داخل نفس الخلية . في سنة 1932 بين ن. ه. هانسن ور. أ. سميث (لدى بوتريثيس سينيري) ان هذه الخلايا المتعددة النوى هي

وراثياً متفارقة (فالنواة هي وحدة التمييز) : فالبوغة الواحدة تعطي عند الزراعة ثلاثة مشيجات مختلفة . وتبدو هذه الآلية مهمة إلى أقصى حد ومفيدة في التكيف مع بعض الظروف . وقد اثبتت الاعمال الحديثة (ج . بونتيكورفو Pontecorvo ، 1956) في الينيسيليوم وجود تفاعلية شبه جنسية ، تعادل الجنس بنتائجها ، ولكنها تسبق عملية الهيتيروكاريزوز ، وتتم وفقاً لاسلوب غريب تماماً .

وفي مجال فيزيولوجيا الهيتيروثاليسم كانت الاكتشافات ايضاً رائعة بشكل خاص . فعند 1924 ، بين هـ . بورجف ان تشكل الاعضاء التناسلية الانثوية هو تابع لافرازات هرمونية صادرة عن مشرة + عند « موكورموسيدو » . وفيما بعد (1935) تم التثبت من افرازات متقابلة في مشرة - وكشفت اعمال راير (1931 - 1951) على الفيكوميسيت المائي ، عن التعقيد البالغ في هذه الظاهرة حيث تتدخل سلسلة من الافرازات الهرمونية الخصوصية ، والمتناسقة بدقة . وينت التجارب الحديثة كذلك انه في السرخسيات (بوليودباسي) ، تقوم الهرمونات الخاصة باحداث الاختلافات الجنسية في « البروتال » (سابقة المشرات) . وتتدخل عمليات مماثلة ايضاً في النباتات ذات الازهار ؛ وكشف مويس دور بعض المواد في ظاهرات التناقض داخل الازهار المتباينة قلمياً .



بتحصل من تاريخ علم النبات منذ 1900 ، وقد حاولنا ان نمسك ببعض تحركاته ، مفهومين ، كان يمكن استخلاصهما في القرن الماضي ، ولكنهما يرتديان في الحقبة الحاضرة قيمة اساسية . المفهوم الاول هو الاستقواء الدائم لوحدة البيولوجيا النباتية ، ووحدة البيولوجيا العامة ، وذلك في العلاقة مع التعميق العجيب للمعارف حول طبيعة الحياة واصلها وتطورها . والمفهوم الثاني هو مفهوم التجدد السريع والمفاجيء في مادة البيولوجيا ، وهذه الحالة جلية في الفيزيولوجيا النباتية ، وفي المورفولوجيا (علم التشكل) العامة حيث امكن اجتياز مراحل تقنية حاسمة ؛ كما ان الامرواضح ايضاً في مجال التصنيف ، حيث ترسم تعديلات عميقة . ولنقل بصراحة : ان البيولوجيا المعاصرة ليست دائماً موجودة بسهولة في سابقتها التي كانت في مطلع القرن ، وهي ترتدي احياناً سمات التحول ، رغم وجود استمرارية عميقة كامنة وخفية .

الطب

إن الخمسين سنة الأخيرة من المكتسبات الطبية قد حققت تقدماً يزيد على التقدم الحاصل في آلاف السنين الماضية . ووصف الطب في القرن العشرين يجب أن يعطي الانطباع عن ثورة طبية ، فلما يقدر الرجال الذين يشاهدونها ، سمتها السريعة والنتائج المنيقة عنها والتي يصعب قياسها . هذه الثورة الطبية المعاصرة ليست من فعل قفزة عبقرية صادرة عن فكر ينطلق فوق ارض مجهولة ليكتشف عالماً جديداً ؛ بل هي تعود إلى عمل دؤوب قام به جيش من الباحثين . فقد قام هؤلاء ، كما يجب ، بدراسات في مناطق حدودية تقع بين الطب والعلوم المجاورة . وتطور علم الاشعة والميكروسكوب المجهري الفائق ، والالكتروفوريز ، والنبد المحوري المتفوق ، والتعير المتناهي الصغر ، وكذلك علم الهرمونات ، وعلم الانزيمات وعلم الفيتامينات ، والتطبيب الكيميائي ، والتطبيب بواسطة المضادات الحيوية ، وعلم الوراثة المتكيف مع الانسان ، والاحصاء المطبق على علم الاربطة ، كل ذلك يشكل امثلة حول هذه المكتسبات الضخمة ، المنجزة بفضل العلوم المختلفة ، وبفضل تبين حدث معاصر مهم هو : تسرب دقة الفكر العلمي إلى دراسة الامراض البشرية .

فمحل الحكم « الانطباعي » حلّ التشخيص التحقيقي ، مما لا يستبعد على الاطلاق الفكر العيادي ، الذي ليس شيئاً آخر غير القدرة على الرصد الذي لا يتثنى وعلى التحليل الصحيح وعلى التركيب الصالح . وبدلاً من المعالجات المبنية على التجربة العملية ، التي أخذ مجالها يضيق ، قامت الاستطابات ذات المفعول القابل للقياس . وهذا لا يستبعد ، على العكس ، المهمة الدقيقة جداً ، مهمة تكيف المعالجات لتتلاءم مع كل حالة خاصة ، فضلاً عن قوة الادوية الموضوعة بين يدي كل معالج بحيث تحوله إلى ساحر حقيقي يجب عليه أن يطبق قوته بحكمة .

في اواخر القرن التاسع عشر ومطلع القرن العشرين ، يوم كان علم الامراض علماً دقيقاً ، وكانت امراض كثيرة محددة ومعروفة ، أخذ الطب يتقدم بصعوبة من جراء نقصين كبيرين .

النقص الاول كان مرتبطاً بسمه وسائل الاستكشاف . فقد كان الطبيب يستعلم عن طريق استجواب المريض أو محيطه ، عن المعلومات التي يجمعها وهو ينظر إلى المريض ويلمسه ،

وينفحصه ويمعن النظر فيه . لقد كان الفحص بالسمع الاكتشاف الاكبر الذي قام به لانك Laennec في مطلع القرن التاسع عشر ، وقد اتاح بمساعدة المستندات التشريحية وضع علم للاعراض والدلالات متين ولكنه أولي ، حول امراض القلب والرئتين . فطالما أن الطبيب ليس له غير عينيه واذنيه واصابعه ، فإن فحصه مهما كان دقيقاً لا يمكن أن يقدم الا بعض العناصر من أجل التشخيص ، في اغلب الحالات .

إن التقصير الثاني كان مرتبطاً بكون الطبيب ، في أغلب الاحيان ، محروماً من القدرة على العمل . فقد كان سلاحه قاصراً ضد غالبية الامراض المعدية . وضد الامراض المستعصية والغذائية والغدية وضد السل ، كان التشخيص لا يؤدي إلى نتائج غير عقيمة . فلم يكن بالإمكان تخليص المرضى من الاضطرابات التي كانت تؤرقهم ؛ وكان الطبيب يقف عاجزاً أمام تغاقم غالبية الامراض الخطيرة .

وتغيرت الازمنة . لا شك أن الفحص العيادي بقي الاساس الذي لا غنى عنه في العمل الطبي . وبقيت دقة الملاحظة وروحها ، والحس الثابت ، والذاكرة الأكثر امانة ، والحكم الأكثر يقيناً من الضروريات للطبيب . ولكن هذا الفحص العيادي الضروري ، والمتكرر عدة مرات والحريص والدقيق ما امكن ، يعتبر اليوم نقطة انطلاق للكثير من الاستكشافات المتفرعة منه . إن التقنيات الحديثة المكتشفة منذ خمسين عاماً ، ضرورة جداً لتوثيق وتوضيح التشخيص الذي ارتآه الفحص العيادي . والمعلومات التي تقدمها الدلائل العيادية ، وتقنيات الاستكشاف ، تكتمل لاعطاء العمل الطبي كل قيمته : إن الايضاحات التي رصدت في انبوب الاختبار أو التي قدمتها اداة طبية ، تصلح كإدراك نفثة في الصدر . وهذه وتلك مترابطة لبلوغ الغاية وهي : تشخيص دقيق وكامل . واليوم اصبح البحث عن التشخيص يؤتي ثماره لان الطب يمتلك اسلحة جديدة وقوية اضافة إلى المعالجات الفيزيولوجية والكيميائية ، والحيوية المضادة .

وعرضنا سوف يتناول ثلاثة أقسام :

إننا نعرض في اول الامر التقنيات الجديدة الاستكشافية التي تتيح الوصول إلى عمق الاعضاء ، ثم اكتشاف الاضطرابات العميقة فيها ، التي كثيراً ما تكون سرية أو مكتومة : التصوير بالاشعة ، أخذ الصور ، الفحص الاحيائي ، تقنيات فيزيائية احيائية ، تقنيات احيائية كيميائية ، التجارب الوظيفية المشتقة منها . ثم ندرس فيما بعد تقدم المعارف الطبية الحاصلة ، بشكل خاص ، بفضل تطبيق هذه التقنيات ، وبفضل رهاقة المراقبة والملاحظة : امراض معروفة بصورة أفضل ، ومفهومة بصورة أفضل ، وامراض مكتشفة حديثاً . ثم نعالج الفصل المهم فصل تطور الاستطباب .

التقنيات والاستكشاف

I - الراديولوجيا أو علم الأشعة

إن الاستخدام الطبي للأشعة قد ازدهر إلى درجة أنه يصعب اليوم كثيراً الاحاطة بمجموع المسألة . لقد بدأت الاكتشافات الكبرى في أواخر القرن التاسع عشر . منذ أن اكتشف رونتجن ، سنة 1895 ، أشعة اكس ، ومنذ أن اكتشف هـ . بيكريل النشاط الاشعاعي الطبيعي (1896) ، المتبوع باكتشاف الراديوم من قبل ب . وم . كوري (1931) ، ويمكن ذكر ثلاث مراحل في التقدم :

1 - من سنة 1895 حتى حدود 1931 ، جرى تحسين المعدات الراديولوجية التي شغلت المهندسين والأطباء .

2 - المرحلة الثانية بدأت سنة 1921 عند ظهور الاستكشاف للشحوم من قبل سيكارد وامتدت حتى ايامنا ، واعطت كل الأهمية لمواد الفرق أو التضاد .

3 - الحقبة الثالثة ويمكن جعلها تبدأ من أول انفجار نووي وتتميز بالاهتمام بكمية الاشعاعات التي يتلقاها المريض خلال الفحص الاشعاعي .

وبعد اكتشاف رونتجن بقليل ، تم حل مسألة المولدات . إنما كان لا بد من وجود انابيب قادرة على تحمل القوى المتاحة . وسرعان ما استبدلت انابيب الغاز بالث الحراري الايوني تحت فراغ كوليدج (1913) ، المبرد بالماء أولاً ثم بالمراوح وأخيراً بغلاف من الزيت .

إن الصفات في مركز البث ، المرتبطة بركة السطح ولمعانه ، مرتبهة للتسخين الناتج عن القذف الكاثودي . إن قسماً من المسألة قد حل باستبدال اليلاتين بالتونغستن ، ثم بمعالجات خاصة . والقسم الآخر قد وجد حلاً له بتركيز الدفق الكاثودي . وظهر مضادات الكاثودات المنحنية على المحور كان تقدماً آخر . إن الانابيب ذات البؤر المزدوجة التي اوجدها مولر قد اتاحت التحكم ببؤرة رفيعة بالنسبة إلى البنيات الصغيرة وببؤرة كبيرة من أجل الفحوص التي تتطلب قوة . ولكن الحل الأكثر أناقة قُدم سنة 1931 من قبل الرلندي بوورم داينتهوفن Bouwers d'Eindhoven الذي تصور أن يدير الكاثود المضاد ، فضاعف المساحة الحرارية مقابل نفس

المساحة البصرية وأعطى للأنايب قوة كافية بالنسبة إلى كل الفحوص المطلوبة .

والحقبة الثانية ، في سنة 1921 ، حتى ايماننا كانت حقبة استخدام وتطوير الفروقات (كونتراست) ، عن طريق تحسين السطوح الحساسة وذلك بخلق فروقات مصطنعة في الموضوع ، وأخيراً بسحب لوج الالكتروني ، للصور الاختبارية المحصول عليها .

لا شك أنه بعد الحقبة الراديولوجية ، لم تزل الفروقات الفوتوغرافية تتحسن . في سنة 1912 ، اخترع پوتر ويوكي المنخل المضاد للبث . في سنة 1914 ، حل الفيلم محل صفيحة الزجاج « پلاك » . في سنة 1917 ، دهن ج . ايتمان ، بناء على الحاح لوبوشز ، الفيلم عن الوجيهين . سنة 1920 ، قدم ويسلي Wilsey حلاً عملياً لمسألة الشاشات المقوية المعروفة منذ 1897 من قبل ونكلمان Winkelman وستروبل Straubel . وحسنه ش . غونتز الجزائري Guntz d'Alger بإضافة السولفور الزنكي والكاديوم .

لا شك أن استخدام الفروقات (Contrastes) المصطنعة ، المكثفة أو المضيفة ، يعود تاريخه إلى ازمة استخدام اشعة ايكس . ولا نزاع ، إن دراسة الجهاز الهضمي هي التي أفادت منه في بادئ الامر : جعل المعدة (معدة الضفدع) غير شفافة بواسطة البزموت (و . ب . كانون Cannon ، 1898) ، ثم في سنة 1898 ، طبق ريدر من فينا على الانسان الوجبة البزموية التي تحمل اسمه . وفي نفس الحقبة تقريباً استخدم بيكلير ، النفخ المعوي ، ثم عقبه تورود وبانسود فادخلا التعمية (أو التكتيف) بواسطة الجيليبارين .

وكانت الاصابات المعدوية قد وصفت من قبل المدرسة النمساوية مع هولزكنيثت سنة 1906 وهودك سنة 1910 ، الذي بقي اسمه مرتبطاً بالحجرة المعدوية . وبين فورسل ، سنة 1913 ، الصور الاولى للناقر الغشائي . وفي سنة 1920 ، فضل غريغوري وكول (نيويورك) أخذ الكليشيات سلاسل . واستعاد الفكرة السويدي أكرلند والفرنسي غوتمان الذي جعل التناذر المؤلم الشرسوفي (فوق المعدة) مواجهة عيادية تصوير إشعاعية .

وإدخال الفحوصات الصيدلانية الديناميكية الهضمية مرتبط بشكل خاص بجهود العلماء الفرنسيين : تأثير البروستغمين على الامعاء على يد راشيه وأرنوس ، سنة 1939 . تأثير المورفين على الغطاء المعدوي من قبل ب . پورشير ، سنة 1944 والدراسة الكافية للمعي الرفيع من قبل شيريجي ، سنة 1950 ، في حين أن دراسة المععي الغليظ « الكولون » ، تعود إلى بداية القرن مع هانيش واوبورخ اللذين اوصيا بالامتلاء الذي أضاف إليه فيشر وليدو - ليارد النفخ ، وكنوث التفرغ . وفي سنة 1931 يحمل ظهور سير بوليكن على جعل الفحص أكثر سهولة . وأخيراً أوضح موندور ويورشر وأوليفي الفحص المستعجل الضروري للجوف .

ولكن إلى جانب الاستكشاف الهضمي ، يجب أن نذكر أن شوفالبي جاكسون ، حقق سنة 1918 أول تصوير للرنيتين عند الإنسان وذلك عن طريق نفخ مسحوق اليسموث بواسطة الكاشف القصبي الخاص . وفي سنة 1921 اتاح عمل سيكار أول صورة قصية للوجع الشحمي . وفي سنة 1945 أنشأ دورن في الولايات المتحدة أول معالجة للوجع الشحمي بواسطة السولفانيلاميد . في

حين استخدم مورالس وهوبنكل. في السويد وفيشر في سويسرا المحاليل المائية الا بتلاعية من نمط يودورون B، وذلك سنة 1948 .

ويعود تاريخ أول محاولة لتصوير الاجهزة البولية إلى سنة 1897 على يد توفيه Tuffier ، وأول محاولة تصوير الخلايا إلى سنة 1905 من قبل وولف وأ. شونبرغ ، في حين أن أول استكشاف كليوي انتظر حتى سنة 1918 مع كاميرن الذي أدخل اليودور ثم برومور الصوديوم . وفي سنة 1914 تمت أول محاولة لتصوير الانسجة من قبل كاري الذي استعمل كولارغول . وفي سنة 1918 نجح داندي بأول تصوير للبطين عند الانسان .

وفي سنة 1921 عمل الاستعمال التصويري الاشعاعي الذي قام به سيكار وفورستيه بواسطة ليبيودول لافي على إعطاء التشخيص بواسطة الراديو خطوة كبيرة إلى الامام ، مما فتح المجال امام العديد من المشتقات اليودية ومما اتاح زيادة الكثافة ، مع تقليل سمية المادة المستعملة . وفي سنة 1921 كانت ولادة التصوير النخاعي أو تجربة سيكار . ولكن أكبر ثورة راديولوجية قدمت عن طريق المكثفات هي إمكانية إستكشاف الجهاز الوعائي .

إنه لشرعي أن ننوه بفضل المدرسة البرتغالية ، لما قدمته من مساهمة استثنائية في هذا المجال . في سنة 1929 أوجد ر . دوس سانتوس التصوير الفوتوغرافي للأبهر . في سنة 1930 نشره . مونثيرو ، آ . رودريغز . ر . دي كارفالهر وس . بيريرا أول صور لمفاوية . في سنة 1931 أنجز إيفاز مونيز أولى الصور للأوردة الدماغية . وبين الالمانى و . فورسمان (1929) أولى الصور للاوعية التنفسية ، وقد حققها على نفسه بعد أن حقن جسمه بواسطة مسبر أدخله في الاوردة الاطرافية إلى قلبه . ولكن ك . بيريرا وغارسيا من كوبا - لدى الطفل - سنة 1937 ، وروب ، وشتينبرغ وه . طوسينغ من نيويورك ، في سنة 1938 هم الذين أنشأوا تقنية تصوير الاوعية القلبية كما هو مطبق حالياً في المؤسسات التي تعنى بالقلب ، في العالم أجمع . وأخيراً تم تصوير الزيف الوريدي لأول مرة على يد ر . دوس سانتوس سنة 1935 . ورأى تصوير المرارة النور سنة 1924 عندما نشر غراهام وكولي من نيويورك اعمالهما حول العتامة الاصطناعية للمرارة بواسطة ملح سودي مثلث من تراكلوروثم تترابروم - فتالين الذي استبدله ويتاكر وميليكن سنة 1925 بالتترايودو فتالين . ولكن لين . ولكن مع سندسترون ، سنة 1928 أعطى التعتيم عن طريق الفم صوراً صالحة تحسنت فيما بعد على يد (بويدن) ونظراً لسهولة هذا الأسلوب فقد حل محل الطريق الوريدي إلى أن ظهر البيلغرافين سنة 1953 الذي أتاح لأول مرة تعتيم الطريق الرئيسي بشكل منتظم .

وأدخل تصوير مجرى الصفراء بعد العملية سنة 1922 على يد ميريزي وبيراز وبين ج . مالمه سنة 1925 كل أهمية هذا التصوير . وحوالي سنة 1930 ألح كارولي وج . مالمه وميريزي على اهميتها بحسب العملية مضافاً إليها قياس الضغط بواسطة الاشعاع . وأعطى ظهور جزيئات سداسية اليود في - امض (di) (3 كاربوكسي ، 2 ، 4 - تريودا انينيد) الذهني ، نفس المعلومات قبل أو خارج كل تدخل ، واثاح استكشاف حالات التهاب المرارة . وفي سنة 1928 عندما خطر لروزيلو أن يضيف البولة إلى يودور الصوديوم (كزلاق) ، عُثر على الطريق الأخصب في الإستكشاف التصويري الإشعاعي للمجاري البولية .

وفي السنة التي تلت استخلم فون ليكتنبرغ سلماً كبيراً نوعاً ما عند الإنسان هو : أورو سلكتان ؛ وعندها نشأت (أورو غرافيا I.V) أو علم تصوير المجاري البولية . وحسن كولييز وبرغمان هذه الطريقة سنة 1930 بالحصول على صور مورفولوجية (شكلية) بواسطة ضغط القناة البولية فوق المضيق الأعلى ، وفي سنة 1954 حصل (لوبوشار) ، باستعمال الهيالو رونيذاز على تصوير المسالك البولية بالطريقة العضلية ، المقيدة جداً بالنسبة إلى الرضع .

إن التصوير الإشعاعي للرحم مدين إلى الليبيدول وقام (بورتريت Portret) سنة 1922 . ثم (ك هوسر Hauser) وكريلي في الأرجنتين بتطوير العملية . وفي فرنسا جعلها مطبقة بسهولة كل من (ر . ليدو - ليبار ، وك . بيكلير ، ج . دالاس ، مدام فرنسيليون - لوبر ، بالمر ، ويولفسفورد) ثم بفضل تقنيتهما المنتظمة استطاعوا أن يزيلوا المحاذير التي كانت تضغط عليها .

أما استكشاف الجهاز العصبي المركزي ، فإذا كان قد استكمل بفضل تصوير الشرايين ، فقد أعطى نتائج جيدة بفضل الفروقات المضئية (التباين الضوئي) .

أما تصوير البطين الذي قام به (داندي Dandy) فيعود تاريخه إلى سنة 1918 . وفي سنة 1940 أنشأ (بلونزي) تصوير المخيخ . وحوالي سنة 1952 حسن (روبرتسون) (وليندغرين) القابلية تجاه الطريقة بدعوتهم إلى التصوير الدماغى المجرأ الذي اعتمده (دافيد ، روجيرو) و (تاليراك) .

وخارج نطاق تصوير البطين قدم التباين الضوئي الواضح خدمات كثيرة . منذ سنة 1902 بين (بيكلير) سهولة دراسة النسيج الرئوي بفضل الهواء الموجود بين الجيوب ، ونصب نفسه داعية متحمساً للفحوص الجماعية من أجل اكتشاف السل . وتبعه في هذا الطريق (شينز) في سويسرا . ولئن تعود إلى الفحوص بواسطة التفاوت المزدوج للألوان الهضمي . وإذا كان أسلوب تنفس - أكلية الذي قال به (كاريلى) قلما يستعمل وإذا كان أسلوب التنفس - الصفاقي قد تراجع تراجعاً لا يستحقه ، فإن أسلوب التنفس الصفاقي الارتدادى الذي وضعه الأسباني ر . ريفاس Rivas ، والذي ظهر سنة 1947 ، والذي طبق في فرنسا من قبل ل . دي جين de Genes وج . ب . ماي May سنة 1950 ، يدل ، بشكل واضح ، على محيط الكليتين والغدد فوقهما . وأخيراً أن التصوير الاشعاعي النسائي ، الذي أوجده غوتز وروتنبرغ ، سنة 1918 وطوره كولييز . سنة 1919 قد عاد إلى الظهور من جديد بفضل بتوليير ، غروس وفيهراغ .

وبعد هذه السلسلة الطويلة من الاعمال ، بقيت المسافة العصبية والانسجة الطرية وحدها غير مستكشفة . فيما خص المسافات العصبية لن تتطور المحاولات التي قام بها برونر سنة 1932 . أما الأنسجة الطرية فإن تحسين وتظهير الكلشيهات بالتنميط الالكترونى ، قد شكلاً تقدماً بفضل تكاثر التفاوت الضوئي الناتج عنها . إلا أنه بخلاف هذه الحبة التي كان فيها التفاوت هو العنصر الأساسى ، فقد ولدت ثلاث تقنيات يشكل ما قدمته حلولاً جديدة : تضارق الصور بواسطة الراديوغرافية أو التصوير الاشعاعي ، من خلال القطاعات ، وتضخيم هذه الصور بواسطة المضخم البراق ، ثم مضاعفة هذه الصور بواسطة السينما التصويرية الإشعاعية .

وبدأ التصوير بالأشعة القطاعي يعود الفضل فيه إلى الفرنسي بوكاج . وفي سنة 1930 قدم فالبيونا من جنوى أول حل عملي وسلسلة لا تنقطع من الاعمال ، وأعطته هذه التقنية شهرة عالمية ، يحق . والمضخم البراق مشتق من اعمال الاميركي شمبلرن (1942) حول البريق واللمعان . وكان مبدؤه أن يعطي بصورة الفليورسان فوق الشاشة الأولى طاقة إضافية مأخوذة من حقل كهرومغناطيسي ، دون تقليل تدرج القيم المختلفة .

وفي سنة 1950-1951 انجز يانكر من بون أول فيلم جدير بهذا الاسم ذي لقطات متتالية من 15 ثانية ، إنما تحت $MA 200$ kV 105 لقاء شعيع محظور تماماً مقداره $r 450$. وإلى بورشبر Porcher وإلى نوا Noix في سنة 1954 ، يعود الفضل في تحقيق إنجازات ذات قيمة حقيقية بفضل استعمال المضخم البراق أو اللماح .

وفي مطلع سنة 1945 مات أكثر من مئة ألف شخص في لحظات نتيجة الاشعاع المكثف . وتحولت الآلاف من الاشخاص الآخرين إلى معاقين ، كما أن ذريتهم بقيت مرسومة بالشعاع . وأيقظت المأساة الضمير العلمي . وهذه الأحداث تشبه تلك التي تسبب بها إشعاعات إكس المكثفة أو الاجسام ذات الاشعاع النشط . وهذه الاشعاعات معروفة . فمنذ 1897 لوحظت أولى الحراتق الاشعاعية للجلد أو التهاب الجلد الاشعاعي . وقد أصيب في ذلك الوقت الباحثون والاطباء الذين يستعملون الأشعة واختيار الطرق المختلفة المستعملة في مجال الفحص الاشعاعي .

وبقيت معرفة المعايير الاشعاعية المطلقة عشوائية لمدة طويلة (قرص سابورود ونواري ، والمقياس الاشعاعي الملون لكينبوك ومقياس الزخم عند فورستينو وكذلك « HEB » لوينتر) . وحوالي سنة 1924 عملت أعمال كريستن وسالومون ، دوان ، دوفيليه ، وأعمال هولتهوسن (الذي كان أول من اهتم بالمقادير المطلقة أثناء الفحص الاشعاعي) ، وأعمال جيفر ، غلوكر ، مينورد ، براغ ، غراي ، فاياومس ، كويمبي ، الكثير من أجل قياس المعيار الاشعاعي . وأنشئت لجنة دولية للحماية من الاشعاع رمز إليها بالاحرف (CIPR) . . . وفي سنة 1928 عقد في ستوكهولم مؤتمر وضعت فيه اللجنة تعريفاً للأشعاع « r » الدولي . وفي سنة 1950 ، في مؤتمر لندن ، اعتبرت الوحدة r صالحة للأشعة التي لا تتجاوز 3Mev من الطاقة ، وفي سنة 1953 ، في كوينهاغن اعتمد « RAD » كوحدة للطاقة الممتصة . وجرى الاهتمام بالمقادير غير المضرة التي يتحملها الأفراد ، والتي حاول موثشر أن يحدد رقمها بـ 0.25r يومي ، ولكن اللجنة الدولية ردتها سنة 1950 إلى 300mr أسبوعياً . وجرى الاهتمام أيضاً بمقارنة ضرر الفحوصات المختلفة .

هناك حمايات متنوعة يمكن تحقيقها بفضل لبس افلام اسنانية حساسة تجاه اشعة أكس واشعة « B » ، باستخدام مقياس فيكتورين الذي صمم سنة 1947 ، واستخدام « غرفة ستيلو » التي صممها كيلبي كيت ، أو غرف سيبيرت ، وقد دعا إليها مينورد سنة 1948 ، وهي مقاسة على إلكترونتر ليندمان . في سنة 1949 وضع ماسيوت Massiot مقياسه الصغير ، وأخيراً يتيح مقياس « IE 49 » لمفوضية الطاقة الذرية إكتشاف تسرب الاشعاعات ، بسهولة ، إلى الاماكن أو لدى الاشخاص الموبوتين .

وإذا كانت بعض الصفحات تعطي فكرة عن الطريق المعجبة التي اجتازها علم الراديولوجيا

الطبي ، وتدل على نجاحاته ، فيجب أن نضيف أن أي مجال علمي لم يزور بالاموات مثل هذا المجال ، كما يجب ذكر الاطباء ضحايا هذا الاشعاع الذي يستطيع بأن واحد ان يضلل وان يشفي وان يميت .

II - علم الفحص الداخلي

إن الاستكشافات الداخلية الجوفية كانت قد اخترعت في خلال القرن التاسع عشر ، وكانت المكشافات الاولى لديزورمو (1853) قد استعملت في الكشف على الحالب والمثانة والمهبل ؛ ثم المكشاف المستقيم لكيلي (1863) ، ثم مرآة الحنجرة التي ابتكرها غارسيا (1855) ؛ ومعيان هلمهولتز (1851) وقد أتاح مراقبة عمق العين . ولكن استكشاف الداخل قد تطور بشكل ملحوظ بخلال القرن العشرين .

واخترع شيفاليه جاكسون ، سنة 1918 ، مسبار القصبة الرئوية الذي اصبح اداة لا غنى عنها من أجل الاستكشاف القصبي الرئوي . وحقق كومل مكشاف المعدنة سنة 1868 ، بدون شك ، ولكن الاستكشاف المعدوي لم يصبح سهلاً وعادياً إلا بواسطة الجهاز العرن المكتشف سنة 1932 على يد شندلر . أجرى كوسمول اولى الاستكشافات البلعومية سنة 1918 عند احد بالعي السيفوف ، ثم تم تحسين استعمال هذه الاداة فيما بعد وشيوعها على يد فانست ، وغوزر ، ونسود وهاسلنجر .

وتم أول استكشاف بطني سنة 1910 من قبل كيلنج Kelling و جاكوبوس Jacobacus تبعهما رودوك . وتم فحص المثانة والمجاري البولية بخلال القرن التاسع عشر ، ثم تحسن بواسطة كشاف المثانة الذي وضعه بروك ونلز ثم بواسطة كشاف المجاري البولية الذي وضعه مك كارثي (المائي وذو الرؤية غير المباشرة) تم كشاف نورا (على الناشف وذو الرؤية المباشرة) . وقد افاد صنع أجهزة كشف داخلي مصغرة الاولاد من كل الاعمار في الفحص الداخلي وفي فحص الحوض .

وأتاحت الابصاريات الحديثة تقدماً ضخماً في مجال الكشف عن المجاري الضيقة والعميقة . وازداد التقدم باستخدام وسائل فوتوغرافية (تصوير المعدة تحقق لأول مرة على يد بورجس وهاليزر) وحتى سينمائية اليوم .

III - الافراغ بالقسطر

في اواخر القرن التاسع عشر ، وبفضل ادوات فريمونت ، فوشر ، اينهرن كانت الانابيب المعدوية والاثني عشرية قد استخدمت . ويعود تاريخ تجربة ملتزر - ليون ، بخلال التمييز الاثني عشري إلى سنة 1919 . وتم البحث عن العصبية السلية داخل السائل المأخوذ بواسطة التمييز المعدوي ، الذي أصبح تقنية شائعة ، سنة 1890 من قبل مونيه Meunier . منذ نهاية القرن التاسع عشر ، كان البول يؤخذ من كل جورة ، بفضل تقنية المجس (الطّفير) الذي يتيح توجيه مسبر داخل المثانة (البارن ، 1895) .

وتجدر الإشارة أيضاً إلى عملية النفخ في الانابيب المهبلية المحققة لأول مرة سنة 1929 من قبل ملك روين في نيويورك ، والمستعملة كما تصوير الرحم والتفيرين في تشخيص وفي معالجة العقم من منشأ أنبوبي .

وفيما بعد ذلك بكثير أمكن التوصل إلى أخذ الدم من داخل التجوف القلبي . في سنة 1929 بين و . فورسمان على نفسه امكانية سحب الدم من القلب بالقسطر بدون أذى . وحقق محاولته بواسطة مسابر مستعملة وشائعة في شؤون البول . واجرى لنفسه صورة (سلبية) لاثبات أن المجس قد دخل إلى قلبه .

في سنة 1941 ، نجح آ . كورناند ود . ريشاردس ، بفضل دراسات اجريت بدقة على الحيوان ، في وضع تقنية لا ضرر منها اطلاقاً ، وادخلا السحب القسطري القلبي إلى العيادة .

في نفس الحقبة ، طبق لونيفر في فرنسا عمليات السحب القسطري القلبي على الكلب ، وحصل فيما بعد على قياسات للضغط في التجويفات اليمنى من القلب والشريان الرئوي ، وذلك على 51 مريضاً ومنذ تلك الحقبة ، ولدت تقنية جديدة ، أتاحت التثبت من الاتصالات غير الطبيعية بين التجويفات القلبية أو بين الاوعية الكبرى ؛ وكذلك قياس الضغط داخل هذه التجويفات ؛ ثم جمع العينات من الدم عند مستويات مختلفة ثم بعد تعيير الغاز ، حساب الدفق القلبي (حساب اعلن فيلر عن مبدئه سنة 1870) ؛ ثم تقدير عمل مختلف التجويفات القلبية والمقاومات الاطرافية ، سواء الرئوية ، أم النظامية . إنه بفضل هذه التقنية أمكن التوصل إلى تقويم سطح ثقب صمامي ، مثل الثقب التاجي (القلنسي) ، ثم معرفة قياس ومقدار ضيقه (غورلن وهابنس ، 1950) . وكذلك تم مباشرة استكشاف القلب الايسر ، أما عن طريق السبر القصبي ، وقسرة مباشرة للاذين الايسر (فاكت ولومان ، 1952) ، وإما وفقاً لتقنية بجورك (1953) ، عن طريق الملامسة الخارجية عبر غشاء الاذين الايسر .

IV - الفحص الإحيائي والتقنيات المجهرية

يجب أن نصنف ضمن عمليات الفحص الداخلي ، عمليات البزل (السحب) والفحص الإحيائي التي جعلتها التقنيات الحديثة ممكنة . إن معظم عمليات القسرة تسهل الاقتطاع . ولكن الاعضاء المليئة تبدو نهائياً بمنجى من كل استقصاء . ولكن بالامكان اليوم البزل أو الاقتطاع بسهولة من الاعضاء ، ثم ، بعد الفحص المجهري للاجزاء النسيجية المسحوبة على هذا الشكل ، نحصل على معلومات ذات قيمة عالية جداً .

لقد تم أول اقتطاع مخي على يد بيايز سنة 1903 ؛ والاقتطاع من مخ العظم بعد ثقب الظنوب (تيبيا) ، ورأس الحرقف ، وخاصة عظم القص ، أصبح تقنية شائعة ، على اثر بحوث غيديني (1908) ، سيفارت (1922) ، آرينكين (1927) .

إن سحب اقتطاع الكبد قد انتشر بفضل اعمال سيلفرمان (1938) ، ايفرسون (1939) ،

بارون (1939) . و يضع (بزل) العقد للمفاوية ، والطحال ، المستعمل في بادئ الامر لاكتشاف الجراثيم ، يستعمل اليوم من اجل التشخيص الخلوي . وفحص الخصية الإحيائي ، والجسم التيرودي (الغدة الدرقية) أصبح شائعاً مثل فحص الجلد . وبدأ البزل الخزعي للكلية (ايفرسون و برون ، 1951) . نذكر أيضاً التقدم الحاصل بفعل تقنية الفروتيس [شفيقيات = فرش رطوية للفحص مخبرياً] المهبلية (بابا نيكولز ، 1933) .

لقد أتاحت هذه الاقتطاعات استخدام المجهر ، ليس فقط من أجل الاعمال المتعلقة بعلم البكتيريا ، ثم للبحث عن الجراثيم المتكونة ، ولكن أيضاً من أجل الدراسات الخلوية ، المحصورة أصلاً بالأعضاء المقطعة من الجثث أو من خلال العمليات الجراحية ، التي امتدت اليوم لتشمل تشخيص العديد من الاصابات الاحشائية ، الدموية ، والشبكية - المبطنة للاوعية الدموية .

لقد استفادت الدراسات الخلوية إلى حد بعيد من تقدم التقنية المجهرية : تقنية فارق الضوء المرحلي (كونتراست دفاز) (زريك ، 1938) التي أتاحت رؤية المكونات العضوية الخلوية ، في حالة الحياة ؛ والتقنية المجهرية الالكترونية المولدة بعد 1945 ، التي بينت تعقيدات الخلية الحية ، العجيبة ، وأتاحت دراسة التنظيم الأدنى من المجهر في البروتوبلازما ، ومعرفة العناصر المكونة لها ، مما ربط بالتالي المورفولوجيا (علم التشكيل) بالبيوكيمياء ، وبالفيزيولوجيا (راجع الفقرة I ، الفصل I من القسم الرابع) .

وأخيراً ساعدت تقنيات جديدة على التقدم المهم في معارفنا الخلوية : زراعة الانسجة (هاريسون ، 1907 ؛ كازل و ايبيلنغ 1910) ؛ تطور الجراحة الميكروسكوبية (شامبرس ، 1924) التي سوف تتيح الدراسة التجريبية للبروتوبلازما الحية ، ولدور النواة ؛ الوراثة الخلوية، تموضع الجينات داخل الكروموسومات ؛ نهضة الكيمياء النسيجية (پوليكارد ، ليزون 1918 - 1940) ؛ تصوير الانسجة (لاكاسانيه ولانس ، 1924) وهي تقنية في اوج نهضتها اليوم ، منذ اكتشاف النظائر المشعة الاصطناعية .

V - التقنيات البيوفيزيائية والبيوكيميائية

خارج التصوير الاشعاعي (راديولوجي) والمجهرية (ميكروسكوبي) ، استفادت الدراسات البيولوجية إلى حد كبير من المساعدة المقدمة من أجل استكشاف العديد من الاختراعات في مجال العلوم الفيزيائية والكيميائية .

التصوير الاشعاعي الكهربائي - اقترحت هذه التقنية سنة 1844 من قبل ماتوسي ، وطبقت لأول مرة على القلب البشري ، بواسطة غالفانومتر شعيري ، من قبل آ . د . والر سنة 1887 ، ثم دخلت في التطبيق الطبي بفضل المعدات البديعة التي وضعها و . انتهوفن سنة 1903 . إن الغالفانومتر ذا الوتر ، الذي وصفه هذا العالم ، اتاح نهضة التصوير الكهرإشعاعي ، وبقي استخدام هذا الجهاز مطبقاً في العديد من المختبرات . إلا أن استخدام التصوير الكهرإشعاعي بواسطة المضخم قد تعمم ، وبعض بدائله تستعمل بدلاً من الغالفانومتر ، أنبوب إشعاعات كاثودية .

وبفضل التصوير الكهربائي الاشعاعي ، فهتم بصورة أفضل ، اتمتات (اوتوماتيسم) ونظام التوصيل القلبي ، الذي يعود تاريخ معرفته إلى آخر القرن التاسع عشر وإلى السنوات الأولى من القرن العشرين . خاصة وأن هذه التقنية قد اتاحت الوصول إلى تقدم ضخم في دراسة مسار الموجة القلصية التي تعترى القلب . إن أعمال ليويس Lewis (1925) حول التجمد الضمني (Déflexion) وأعمال غولديبرجر (1942) حول السهام القلبية (Vecteurs) ؛ وأعمال ف . ن ويلسون ومعاونيه (1933-1950) حول مفهوم الموقع الكهربائي للقلب ، وضمور التجايف الأذنية والبطنية ، واضطرابات التوصيل ، والتناقص البطني ، وجدوى الانحرافات المختلفة ، وخاصة الانحرافات قبل الجبال قد أتاحت فهم تولد الكهرباء القلبية . وقدمت للعيادة القلبية العون الاثمن لإحراز تقدم ثوري في علم القلب (كاردولوجي) .

أتاحت هذه الانجازات ، ليس فقط توضيح وتحديد التواتر القلبي واضطراباته ، بل أتاحت بشكل خاص اكتشاف الاصابات الأكثر دقة ، في وعائية نسيج القلب العضلي الذي تعتبر أهميته عظيمة في أمراض القلب في النصف الثاني من الحياة . وجهدت الدراسات المتعلقة بالصور القلبية (مان 1920 ، سولزن ودوشوسال ، 1936) وهي تضم في خط بياني واحد مختلف انواع الاسهم الدالة على النشاط الكهربائي للقلب ، أن تحل المسائل التي ما تزال عالقة فيما يتعلق بتوليد الكهرباء القلبية .

التنصت إلى حركات القلب (لونو - كارديو - غرافي) - هذه التقنية قد استفادت من الاكتشافات الفيزيائية ، فضجيج القلب ونفساته ، تدون فوق رسميات تسجل حركات القلب ، وتلتقط بشكل كرونولوجي (ايبتهوفن ، 1907 ؛ ويغرزودين ، 1917-1919 ؛ دوشوسال ، 1928) .

التسجيل الكهربائي الدماغى - في سنة 1924 حاول هانس برجر ، وهو باحث منفرد ، كان ينظر إليه كمنجم ، أن يقنع علماء الفيزيولوجيا بحقيقةذبذبات الضغط التي كان يلتقطها عبر الجمجمة .

وقد سبق في سنة 1875 أن استطاع كاتون أن يسجل ضغوطات الدماغ ، في سنة 1894 بين فان ماركوف وبيك ثم غوتش وهورسلي أن النشاط الكهربائي في القشرة الدماغية (كورتكس) البصرية يتعاقب مع لمعان العينين ؛ في سنة 1925 استطاع نيمسكي أن يصف موجات ذات تواتر معين سماها الذبذبات الكهربائية الدماغية .

ولكن برجر هو الذي سجل سنة 1924 (أعمال دؤنت ونشرت سنة 1929) أولى الذبذبات الكهربائية الدماغية ، عبر سلخ جلد الجمجمة من رؤوس أشخاص لديهم ثغرات جمجمة ، ثم عبر الجمجمة . ووصف التواترين 8 و 11 دورة في الثانية مع ميل قذالي (إلى مؤخرة الرأس) كما سجل ردة فعل التوقف . وأكد أهرمان وماتايوس سنة 1934 هذه النظريات وبينوا بأن تغيرات الضغط تعود إلى النشاط الكهربائي في القشرة الدماغية .

وبين سنة 1929 و 1936 تابعت الدراسة حول القشرة الدماغية بفضل المسجل الكهربائي الدماغى : تطور المسجل الكهربائي الدماغى عند الإنسان (لندسلي 1936) ، والتخطيط أثناء

النوم (دافيس ولوميس ، 1935-1937) ، وضبط واعداد المقياس الكهربائي الدماغي (دوروب وفييسار ، 1935) .

وتم وصف مظاهر جديدة للتواتر الدماغي : أنماط التفاعل التوقيفي قد توضحت ؛ كما درست شروط التفاعلات الكهربائية القشرية من قبل العديد من المؤلفين ؛ وكانت التغيرات الأيضية موضوع العديد من الاعمال (بريرمر 1936 : مفاعيل نقص الاوكسجين في الأنسجة ؛ موروزي ، 1938 : مفاعيل نقص السكر في الدم (هيوغليسي) ؛ ليرسون وشتروس ، 1941 : مفاعيل عسر التنفس) . وكان الصرع (داء النقطة) منذ 1935 ، موضوع دراسات عدة . إن أهمية التصوير الكهربائي الدماغي (E. E. G) من أجل تشخيص الاورام والدمامل الدماغية (والتر ، 1937 ، كورنمولر ، 1936) قد ثبتت كذلك خلال الارتجاجات الجمجمية (وليامس ، غلازر Glaser ، ساياردينا Syaardina ، والتر ، 1942) والإصابات العامة والأيضية .

إن التصوير الكهربائي الدماغي (E. E. G) يشكل فحصاً مفيداً من أجل تشخيص ووصف العديد من الامراض الدماغية . وهو يقدم معلومات مهمة فيما يتعلق بانماط وظائف الجهاز العصبي المركزي . إن التشخيص الكهربائي للحفز قد قنن من قبل (فلوجر Pfluger) سنة 1920 وطُبِّقَت الكروناكسي [وحدة زمنية تقاس بها انفعالية الانسجة الحية] على الانسان من قبل بورغينيون سنة 1924 لدراسة العصب والعضل والوظائف الحسية الحساسة .

الوصف الكهربائي للعضلات - إن هذه التقنية القائمة على تسجيل وتحليل تأثيرات الضغط الكهربائي ، أما في العضلات الكاملة (التصوير الكامل) ، وأما في عناصرها (الوحدة المحركة ، والالياف العضلية) قد كانت موضوع العديد من الاعمال . ومن سنة 1907 إلى 1912 حقق هـ . بيپر ، التسجيلات الاولى في التصوير الشامل للعضلات . ولكن التصوير الشامل للعضلات لم يحقق تطوره الكامل إلا بعد عزل نشاط الوحدة المحركة التي قال بها شيرنغتون ، والذي حققه اديان وبرونك سنة 1929 ، بفضل الابرة المزودة المحور التي تحمل اسم هذا المؤلف الأخير .

وحاولت بعض أعمال ديني - برون ، وأعمال لندسلي مقارنة علم الامراض (باثولوجيا) . وليس إلا بين 1940 و 1945 ، وفي مختلف البلدان أدت إفادة علم الأمراض من التصوير الكهربائي البدائي للانسجة إلى امكانية وصف العاراض الكهربائي التصويري للانسجة ، في مختلف الامراض .

في سنة 1940 ، قدم سيفارت مساهمة أساسية في سلوك الوحدة المحركة بخلل التقلص الارادي ، مستعملاً لهذا الغرض الطواعية التي تقدمها العضلة الضامرة ، بفعل الشلل ، وربط بوكتال وكليمانسن اسميهما بالتفريق بين الضمور العصبي المولود والعضلي المولود (1940-1941) . واكتشف سـ . تاور (1938-1941) ، مولانديت وماغلاديري (1941) التليف أثناء الضمور الناتج عن فقد العصب . وعكف ودل على دراسة الاصابات الارتجاجية للاعصاب (1943-1945) . وقام تورين ، لوفير وليريك (1943) بوصف النشاط الإيقاعي أثناء الإصابة بالكزاز ، دراسة عاد إليها كوجليرغ سنة 1948 بفضل ربط العضو المصاب بفقر الدم الموضوعي . ودرست الأمراض

العضلية من قبل كوجلبرغ (1949) . وحقق لوفيفر ، ليريك وديكلو وشامبلان (1947) أول تحليل للرشقة العضلية التوترية ، ودرس ماسلاند وويغتون (1944) والاجوانين ، لوفيفر وشيرر (1949) الحزمت والمفوصات التي يحدثها الهرمونيستين .

إن الحفز المقرون بالتسجيل قد تحقق من قبل هارفي وماسلاند (1941) في دراسة الوهن العضلي ومن قبل كوجلبرغ وسكوغلوند (1946) من أجل تحليل ظاهرات تضيق القابلية للتحفز العصبي . وهذه التقنيات الأخيرة التحفيزية والاكتشافية تستخدم الآن كل يوم في مجال التصوير الكهربائي العيادي للإنسجة .

تقنيات قياس السمع - بدلاً من التجارب حول الأصوات ، وحول المرئان جاء المقياس السمعي . والمقاييس السمعية الأولى تعود إلى سيشو (1902) وإلى شوارتز (1920) . في سنة 1921 ، صنع غوتمان أول مقياس سمعي حديث ؛ سنة 1922 ، وضع فولر وويغل أول مقياس سمعي معير بالدبيل . في سنة 1928 اكتشف فولر ، اللقطات التي تساعد على تحديد مواضع إصابة المجاري السمعية . في سنة 1941 ، ابتكر ديكس وهاليك طريقة الانعكاس المشروط (Peep-Show) للدراسة سمع الأطفال بين 3 و 7 سنوات . في سنة 1948 ابتكر بوردي وهاردي طريقة الانعكاس الكهربائي النفساني Psychogalvanique ، للبحث عن حالة السمع عند الأطفال من سنة إلى 3 سنوات .

تقنيات فحص باطن العين - اضيف إلى منظار العين الذي وضعه هلمهولتز ، اجهزة جديدة : منظار كهربائي ذورؤية مباشرة ، منظار عملاق ثنائي وضعه غولستراند ، بيوميكروسكوب اولمبة ذات شق تتيح ، عند مستوى المواضع الشفافة ، احداث قطع بصري حقيقي ثم فحص القرنية ، والغرفة الداخلية والقرنية ؛ وبعض نماذج الزجاج التلامي من مادة بلاستيكية تحتوي مرآة أو موشوراً ، وكلها تتيح استخدام افضل للبيوميكروسكوب . أما الفحص الغلونيوسكوبي فهو فحص الغرفة الداخلية بين القرنية والقرنية وراء حدود الدائرة (لامب) والتي لا تكون مرئية عادة ؛ وهناك نماذج تتيح فحص الشبكية بواسطة اللمبة ذات الشق وما فيها من ميزة مزدوجة من حيث الشعور بالنافر ، ومن حيث القطع البصري .

النظائر المشعة - إن النظائر المشعة تتيح تتبع عملية الايض واستعمالها في مجال البيولوجيا قلما يعود الا إلى اكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي (ف . جولوت ، وجوليوت - كوري ، 1934) واستخدام المصادر القوية للعناصر الاشعاعية الاصطناعية . وهناك العديد من المثات من النظائر المشعة يتصرف علماء البيولوجيا ومن بينها كل العناصر تقريباً ذات الدور الحيوي . في الوقت الحاضر تستخدم النظائر من أجل التشخيص ومن أجل المعالجة . وأكثرها استعمالاً هو اليود النشط الاشعاعي الذي يستخدم لاستكشاف الوظيفة الدرقية .

وكلما ازداد افراز الغدة الدرقية من الهرمونات كلما ثبت اليود ، ولكن كميات اليود المستعملة هنا ضئيلة للغاية ؛ من عيار عدة شعرات من الميكروغرام في اليوم ، ومن المستحيل ، عن طريق الوسائل القديمة تتبع مسار اليود في الجسم ثم تقدير كمياته . ومن أجل جعل العملية مرئية ، اذ أعطينا الشخص كميات كبيرة من اليود ، فإنها تثير الاضطراب في الوظيفة الدرقية وتشوش الظاهرة ،

مما يحرم الملاحظات المحدثة ، كل فائدة . ويتيح اليود المشع قياس الجزء من اليود الممتص من قبل الغدة الدرقية ، قياساً دقيقاً ؛ ودقة هذه الطرق تمكن من تعيير كميات تقل عن جزء من الألف من الميكروغرام . إن اليود المشع يمثل الطريقة الأكثر أماناً من أجل تقدير القيمة الوظيفية للغدة الدرقية ، ثم تقويم كمية الهرمون الذي بوجوده يتواجد العيب أو النقص في عملية الأيض المسؤولة عن مثل هذا الخلل في الوظيفة الدرقية .

ويمكن بنفس الشكل درس - بفضل الحديد المشع - تركيب الهيموغلوبين ، وتشكل الكريات الحمر ، وبفضل الفوسفور المشع يمكن درس تركيب الدهن الفوسفوري ، وبفضل التيميدلين المطعم بالترتيوم ، يمكن فحص تركيب الحوامض النووية ، ويتيح الصوديوم المشع تتبع الحركات الأيونية (المغناطيسية) عبر الأوعية أو الأغشية الخلوية ، ثم استكشاف تساريفها ، وبفضل البروتينات المطعمة باليود المشع يمكن قياس حجم البلازما ، وتقدير الاحتياطي البروتيني في الجسم أو البحث عن وجود ورم دماغي ؛ وبفضل الكروم المشع يمكن تعليم أو وسم الكريات الحمر وقياس مدة حياتها . وهكذا يقدم استعمال هذه التقنية الجديدة مقياساً كميًا ومركبًا للتفاعلات الأيضية الأكثر حمضية ، ويجعلنا وجهاً لوجه أمام فضاءات الانتشار ، والحقبات البيولوجية ، والمخزون الأيضي والرساميل التبادلية ، ومعدل وسرعة التجدد ، ويوصلنا إلى المفهوم الديناميكي لعمليات لا تتوقف من التقهقر ومن إعادة التركيب .

طرق تكسير البروتينات - إن هجرة الخلايا البروتينية تحت تأثير الحقل الكهربائي ، وتطبيق هذا المبدأ على دراسة أو على فصل مختلف الكسور البروتينية في المصل ، كانت موضوع بحوث عدة ، منذ أن وضع آ . تيسيليوس ، سنة 1937 ، بتصرف المجربين ، جهازاً يسمح بفصل - نوعياً وكمياً - هذه الكسور البروتينية ، منشئاً بذلك النقل الكهربائي .

على أثر النقل الكهربائي الحر أو النقل الكهربائي الحدودي ، تم انجاز تقنية النقل الكهربائي على الورق أو النقل المناطقي (أ . ل . دوروم ، لينسكل ، ه . د . كريمر وأ . تيسيليوس ، 1950) ، تقنية ادخلت إلى ألمانيا من قبل و . غراسمان وك . هانغ ، وإلى فرنسا من قبل ماشييف وريروت سنة 1953 ، مما أتاح ، بحسب الملونات المستعملة ، القيام بعمليات قياس للبروتين غرام شاملة ، لبيدوغرام ، غليكو - بروتينوغرام . وأخيراً جاء دور النقل الكهربائي بشكل تجميد (جلوز) وهي عملية وصفها غوردون ومساعدوه سنة 1950 ، ثم عملية المناعة بالنقل الكهربائي التي وضعها ب . غرابار وويليامز (1952) التي أتاح فصل الكتل البروتينية الخام ، ونقل النشاء إلى عجيبة (جل) (سنيتر ، 1955) عملية كشفت عن الفروقات الوراثية في المكونات المصلية .

وهناك طرق أخرى لتكسير البروتينات ظهرت في السنوات الأخيرة مثل طريقة كوهن (1946 - 1949) التي أمنت إثبات الوظيفة الفيزيولوجية التي تلعبها الكسور المختلفة داخل البلازما ، والتي أوجدت نمطاً جديداً من العلاج هو المشتقات البلاسمية . أما التصوير التلويبي ، الامتصاصي ، فوق مبادلات للأيونات ، وكذلك التصوير التلويبي الاقتسامي فوق عامود أو فوق ورقة ، على مرحلة غازية أو بواسطة التقنيات النظرية الإشعاعية ، هذه الصور الملونة ثمينة لدراسة الحوامض الأمينية المصلية والبولية ولدراسة السكاكر .

إن الكتلة الجزيئية المؤلفة من البروتينات قد تقاس بالنابذة ذات الدوران السريع (سثيدبرغ ، 1928) قدمت عمليات سبر مختلفة منها : (التندف ، تاكاتا ، 1930 تجربة التريسي الكولسترولي ، هانجر ، 1939 ؛ تجربة ماكلاغن بواسطة التيمول ، 1944 ؛ تجربة سولفات الزنك ، كوتكل ، 1947 ؛ تجارب غروس ، ولتمان وغراي) كلها تقدم شهادة مريفة ومحسوسة حول الشذوذات المصلية ولكنها تطرح عوامل متعددة .

ونظر إلى دراسة البروتينات البلاسمية كدعم للخصائص الفيزيولوجية أو المرضية ، ولوحقت بنشاط . في سنة 1935 وصف كويك الطريقة في وقت تعيير البروثرومين (خميرة ليفية) ، وهي مرحلة تقنية أساسية في مجال التخثر ، وهي طريقة تستعمل يومياً تحت اسم وقت كويك . في سنة 1943 ، وصف كويك طريقة تسمح بدراسة استهلاك البروثرومين في الدم الوريدي وأُسنه 1947 ، طبقها على الإشارات الدالة على وجود نزف . في سنة 1951 وضع هارنيرت مقياس الجلطة الدموية ، وهي طريقة فيزياء لاستكشاف التخثر .

ونجح كوهن وتلاميذه في عزل الكسور المختلفة من الكريين ، ونجح في تبين دور الغاما كرين ، في وظيفة انتاج المضادات . وبذات الوقت تكاثرت المعايير الانتقائية بواسطة الطريقتين الكيميائيتين ، من أجل قياس مختلف المكونات المحددة الموجودة في البلازما مثل : غليكوبروتين ، ليوبروتين (دهن) ، أنزيمات ، الخ ، وهي تقنيات تردنا إلى مجال التعبير الكيميائي .

عمليات التعبير الكيميائي : إن النهضة المدهشة التي أصابت الكيمياء الإحيائية وشاهدت إزدهار هذا العدد المدهش من الاكتشافات حول الفيتامينات والهرمونات وتشكل الأنزيمات ، والأكسدة عند مستوى الخلايا ، والمناعة الكيميائية ، قد أتاحت جزئياً كشف النقاب عن كمية من الظواهر الفيزيولوجية والتفاعلات المرضية . ونتج عن هذا التقدم ثلاث نتائج خصبه :

- أ - قدم البحث البيوكيميائي مساهمة رئيسية من أجل حل المسائل الفيزيولوجية الرئيسية ؛
- ب - إرتكز فحص المريض على معلومات يقدمها مختبر الكيمياء ؛
- ج - وضع الكيميائي بين يدي الطبيب الممارس عدة عديدة من وسائل التطبيق من الدرجة الأولى .

إن المواد القسوى في المادة الحية قد أصبحت اليوم معروفة بصورة أفضل في الطبيعة ، من حيث نسبها الوزنية وأشكالها والقوى التي تجمع بينها ، وطاقة الارتباط بالماء فيها ، الماء هذا المذيب الحيوي . وبفضل أعمال غمبل (1936-1947) ، دارو (1944-1950) دود (1949) غيست (1950) ، ماش (1946) ، أصبحت اليوم معروفة قوانين التوازن المائي والكهربائي ، والتوازن بين الحوامض والركائز ومنظمتها التنفسية والكليوية . وتكونت على أساس هذه المعلومات الكيمياء الطبية المتعلقة بعدم تزويد الدم بالأوكسجين ، الحوامض السكرية والقلويات السكرية ، مما فتع المجال أمام فصول جديدة في علم الأمراض ، الأمر الذي مكن من الحصول على مكتسبات رائعة في مجال تقنيات التنميش وكذلك في الأدوية الفعالة .

وأصبح اليوم معروفاً التركيب الأيوني في الجسم البشري والتوازن بين الحوامض والركائز في

الدم ، وكمية البروتينات ونسبتها ، والدهنيات ، والفلوسيد المصلي ، واستكشاف الحديد المصلي ، وطبيعة الهيموغلوبين والدراسة البيوكيميائية للكبد ، والجهاز الهضمي ، والعظم ، والعصل ، وسائل النخاع الشوكي ، والغدد الصماء ، الخ .

وعلمتنا البيوكيمياء على معرفة وعلى التعامل مع هذه الأنواع الكيميائية الخاصة والفيتامينات والهرمونات والأنزيمات ، والناقلات التي يتعارض نشاطها مع الجمود الظاهر العام في مواد البنية ، هذه المسهلات الإحيائية المرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالبروتينات والمحمولة من قبلها ، والتي يؤدي تدخلها إلى التحكم بالنشاطات الحيوية وبكل الأيض ، وتنظيمها ونموها وحركاتها وتناسلاتها . وعرفتنا البيوكيمياء أيضاً على الدور الاساسي لعملية الفسفرة في ظاهرات الأكسدة ونقل الطاقة .

VI - التجارب الوظيفية

يتجمع استعمال هذه التقنيات المختلفة وهذه الأساليب المتنوعة الفيزيائية والكيميائية ، بالنسبة إلى العيادي ، في زمرة من التجارب الوظيفية المطبقة على هذا المضروأ ذاك .

الكبد - من المعروف أهمية عيار البروترومين (كويك ، 1935) ، والبروكوتنترتين (الكسندر ، 1949) ، وسبر التندف من أجل تقدير الوظائف الكبدية .

تضاف إليها تجربة البيلة السكرية المستثارة (دوول Deuel ، فيسنجر Fiessinger ، 1932) ، دراسة كسرات الكرلستروال الدموي (تاماهوسر) ، السبر الهيبوريكوري (كويك Quick ، ستر الفيتامين K (كوهلر Kohler) ، سترات أبعاد الملون ورد البنغال (دلهرات ، 1929) ، والبرومو- سولفو- فتالين (روزنتهال ووايت ، 1925) ، تزايد أز النقل الأمني غلوتاميك وأوكز الوستيك (ربولويسكي ، 1955 ؛ دي ريتيس 1955) ، تعيين مكّون الصفراء (بيليريون) المباشر وغير المباشر بواسطة طريقة هيجمانس فان دن برغ (1913) . ان تزايد البيليريون المباشر هو دليل على الاحتفاظ الصفراوي ، وتزايد البيليريون غير المباشر هو إشارة اما إلى انحلال الدم (هيموليز) ، واما إلى إصابة خلوية مكتسبة (كبادفطري تولدي) أو عدم نضج كبدي (يرقان فيزيولوجي) . ان الدراسة الوظيفية للتنقية الكبدية بواسطة ورد البنغال المكثفة (تايلن 1955) تفيد وتعطي معلومات تشبه المعلومات التي يعطيها البرومو- سولفو- فتالين . ان ورد البنغال المكثف يتيح أيضاً دراسة تشرحية ومورفولوجية (شكلية) بواسطة اللمعان الاشعاعي (رينولد ومك انتاير ، 1957) . وتتيح هذه الطريقة تشخيص الورم الكبدي (تفشي المرض واشتركااته ، الخراج ، تولد الطفيليات (پارازيتوز)) . ان الذهب الغروي المنشط اشعاعياً (فيتر ، 1954 ؛ فوشرت وينهامو ، 1957) يقيس الانكشاف الكويغري أو النشاط المنقي وتأثيره على المواد التجزئية ، مهما كانت الطبيعة الكيميائية ، الذائبة في البلاسما .

الدرقية - بينا أهمية تجربة تثبيت اليود المشع في استكشاف الوظيفة الدرقية المتممة أو التي تنوب عن التجربة الكلاسيكية فيما يخص قياس الأيض الركيزي (ماغنومس - ليفي 1895) .

يضاف إلى هاتين التجريبتين تعيين اليود (ويكز وسالتر 1951) وكولستروال الدم ، والتأخر في النمو العظمي عند الأطفال الكساحيين (ميكو- ديماتي) (ويلكنز وفليشمان ، 1942) ،

والتشويه الخلقي بسبب الغدة الصنوبرية عند الأطفال الممرضين بالصنوبرية والدرقية (ويلكنز 1941 ور . دويري ، 1948) ، والاستجابة لتثبيث اليود المشع على أثر زرقعة من المحفز الدرقي (تجربة كيريدو ، 1950) .

الاستجابة الوظيفية الكلوية - ان أهمية رقم البولة الدموية قد أثبتت من قبل فيدال وجاقال (1903-1905) . وأهمية رقم البولة في الدم وفي البول قد ذكرت تماماً من قبل أمبارد الذي حدد ثابتهها سنة 1910 : ومفهوم (النقاوة) ، أو معدل النقاء البلاسمي قد تحدد من قبل فان سليك سنة 1921 ثم عاد إليه سنة 1928 مولر ، ماكتوش وغان سليك فيما يتعلق بالبولة .

إن قياس التصفية الكلوية قد تمّ عن طريق النقاوة في الكريتانين الخارجي النمو (ريهيرغ ، 1926) ، ونقاوة الإينولين (شانون ؛ 1935) ونقاوة المانيتول سميت وكنكستين ، 1940) . وقيس التدفق البلاسمي الكلوي بواسطة نقاوة حامض بارا أمينو - هيبوريك (سميت 1945) . وأتاحت تجربة فولهارد (1914) قياس طاقة الكلية على تركيز وتخفيف البول . وأثبتت انتظام الحامض والكريزة ، بواسطة الكلية قد تم على يد بيتز سنة 1950 . أما توليد الامونيوم فقد أثبتته ناش وينديكت سنة 1921 . وإعادة الامتصاص الأنبوبي قد درست : بالنسبة إلى الغلوكوز (شانون وسميث سنة 1935) ، والحوامض الامينية (دوتي ، 1941) ، والفوسفور (هاريسون سنة 1941) . واعتمد عدد الكريات الحمراء المستبعدة في البول بخلال 24 ساعة ، والمقرر من قبل آيس سنة 1948 ، من قبل همبرغر سنة 1950 بشكل عد الكريات في الدقائق . وجرى الاهتمام أيضاً بالاضطرابات الانحلالية التي تميز تطور أمراض الكلية . وأخيراً أتاح النفروغرام النظيري (تابلن وفريقه ، 1956 ؛ مبلير وفريقه 1958) دراسة القيمة الخاصة بكل كلية من الكليتين .

الاختبارات الوظيفية للفقرة فوق الكلوية - ان هذه الاختبارات هي مكتسبات من الأكثر تبييناً لأهمية البيوكيمياء الحديثة . ونحن نكتفي بالرئيسية منها .

تعبيرُ الحُلّ بالكهرباء (صوديوم وبوتاسيوم) في حالة عدم الكفاية . الدلائل أو السمات (الكهر - قلب - تسجيلية) للزيادة أول للنقص في البوتاسيوم داخل المصل (كوتلر ، 1938) . فحص مبري للبول المستبعت (ر . دويري وج . ماري ، 1938 ؛ روبنسون وفريقه ، 1941) . تعبير اللدوسشرون في الدم (پارل 1957) استكشاف الوظيفة الغلوكوكورتيكودية (الفرز القشري للغلوكوز : تجربة ثورن ، 1953) . التعبير الكيميائي للغلوكوكورتيكويد : في البول (بورتر ، سلب ، 1950 ؛ غلين ونلسون ، 1953 ؛ بونجيوثاني ، 1954) أو في الدم (نلسون وسامويل ، 1952) . تعبير سبعة عشر سيتوستيرويد في البول (زيمران ثم كالدو ، 1938 ؛ جنسن ، 1950) . تعبير - في البول - للدهيدرو - ابي - اندروستيرون ، كسر 3 - كوني Conn أو كسر B - لجايل Jayle (دريشل ، زيلكن ، 1943 ؛ باترسون ، 1947 ؛ آلن ، 1950) ؛ تعبير في الدم (غاردنر ، 1953 اميجون ، 1955) . اختبارات ديناميكية للعمل فوق الكليتين . اختبار تنشيط بواسطة A.C.T.H للإبعاد البولي لسبعة عشر هيدروكزيكو رتيكويد ولسبعة عشر سيتوستيرويد (ثورن ، 1953) . اختبار اللجم بواسطة الكورتيكوزول

(ويلكنز ، 1950 ؛ غاردنر ، 1951) . تعبير الايضة (ميتابوليت) : داخل البرغنانيتريبول (بونجيوفاني ، 1953) ، تعبير المركب S أوترا S (بونجيوفاني 1955) . اختبار التفصيل بالبوتاسيوم (هاروب وكوتلر) . دراسة افراز الماء (اختبار روينسون ، پانز وكتر) .

دراسة الدم - ان هذا التحليل بلغ أيضاً دقة مذهشة . فازمنة وقف النزيف الثلاثة أي الوعائية ، الصفحية أو البلاسمية ، قد درست بموجب اختبارات دقيقة : زمن الرفع ، زمن التخثر ، تقلص الجلطة ، اشارة الربطة أو اشارة كأس الهواء ، ترقيم مختلف عناصر الدم ، شذوذ عناصر الدم ، وضع تقييم للكريات ، قياس مقاومة الكريات ، معدل الهروثرومين ، اختبار التقبل تجاه الهيبارين ، قياس الهروثرومين المستهلك ، البحث عن مضادات التخثر ، الخ . نذكر أيضاً استخدام السيليكون الذي أدخله جاكس سنة 1946 ، مما أتاح استقصاءات في مجال الصفائح ، مفسراً دور الملامسة في التخثر ؛ كما ان استعمال السيليكون قد مكن من نقل الصفائح .

الاستكشاف الوظيفي للمبيض - ان الاقتراع النسيجي أو الاقتراع الخلوي الهورموني من البطانة الرحمية هو الوسيلة الأكثر امانة والأكثر وثوقاً لاكتشاف النقص أو الزيادة الهورمونية التناسلية . ودراسة المنشطات المهبليّة قد اثبتت بالسابق . وتعبر الفوليكيولين [هورمون مبيض] في البول ، بفضل الطريقة التلوينية المترية التي وضعها كوبر سنة 1938 ، وحسنها جايل سنة 1948 ، والتعبير الوزني للبرغنانديول البولي هي اختبارات مهمة ولكنها دقيقة .

الاستكشاف الوظيفي للخصيتين - ان تعبير السبعة عشر سيتوستيرويد البرلية هو اختبار أساسي ، ولكن الخصية لا تنتج الا ثلث هذا الافراز الذكوري المنشط . أما الثلثان الآخران فتنتجهما القشرة فوق الكليتين . والاقتراع النسيجي الخصيوي هو استكشاف ذو أهمية كبرى في حال العقم .

إن التعبير ، لدى الجنسين ، في البول بحثاً عن المحفز المنسلي A (F.S.H) هو ذو أهمية رئيسية من أجل اكتشاف المنشأ النخامي أو التناسلي للاضطراب الهورموني .

الاستكشاف الوظيفي لشبه الدرقية - في بادئ الأمر الاستكشاف البيوكيميائي : تكلس الدم (مك كالوم وفوغتلي ، 1909) المقدّر حول التغيرات في الكالسيوم المصلي الشامل . ذلك ان قياس الكالسيوم المؤين كان صعباً على التحقيق في ذلك الحين ؛ تشبع الدم بالفوسفات ؛ الزيادة الكلمية البولية والفوسفاتية . إن الاختبارات الديناميكية تركز كلها تقريباً على الصفة الفيزيولوجية في الهورمون ، من حيث انه يتحكم بالافراز البولي للفوسفور ، وذلك بحده من اعادة الامتصاص داخل الانابيب البولية الصغيرة ، للفوسفور المصفى بواسطة الكبيبة .

فالسير الذي أدخل سنة 1934 من قبل السورث - هوارد يقوم على دراسة تغيرات الفوسفات في البول ، ككرة فعل على الزرق الوريدي لمستحلبات الغدة شبه الدرقية . واحتل هذا السير مكانة لا تنكر منذ استطاع البرايت Albright ان يعزل « شبه - هيبواراتيرويديسم » حيث الاضطراب الاساسي لم يكن بسبب خلل غدي بل بسبب نقص في الثقل النسيجي .

ودراسة تغييرات الثوابت البيولوجية الفوسفاتية الكلدية الدموية والبولية على أثر الزرق المتكرر لمستحلبات الغدة شبه الدرقية (هـ . أ . هاريسون ، 1956) تغطي أيضاً اشارات مفيدة . وبعدما جاءت الاستكشافات الكهر تحليلية : قياس المؤشر التوتري بواسطة الغالفانومتر ، وهو نسخة مكررة من القياس العضلي الكهربائي ، في حالة الكزاز (توربين ، لوفيفر وليريك ، 1943) شدوذ كهربائية دماغية مسجلة في حالة الكزاز .

الاستكشاف الوظيفي البكرياسي - [بانكرياس = الحلوة] أتاح عدد من الاختبارات الاستكشاف الوظيفي للحلوة الصماء بخلال السكر السكري أو هيپوغليسمي « نقص السكر » . إن تقبل الغلوكوز يقدر بعد ادخال الغلوكوز وبعد البحث عن الصفات في مثلث فرط الغلوكوز الدموي المستثار (م . لآبي ونيشو ، 1928) . ودرست تقبلة السكر أيضاً بعد اعطاء الغلوكوز عن طريق الوريد (كراوفورد ، 1938) ؛ والتقبلة الضعيفة هي مؤشر على رداءة عمل الحلوة . أما الزيادة في التقبل فهي دلالة على زيادة الانسولين . واختبار ستوب تروغوت الذي فحص تقبل الغلوكوز على دفتين بينهما ساعة من الزمن ، هو اختبار جيد من أجل البحث عن الزيادة في الانسولين . واختبار تقبلة الانسولين قد قُتّن من قبل ساندراي ، تايسن وراودوسلاف . والتقبلة المنقوصة دليل على نقص السكر الوظيفي والتقبلة الزائدة تبدل على وجود السكري وعلى وجود ورم بنكرياسي متج للانسولين .

الاختبارات الوظيفية التنفسية - هذه الاختبارات نشأت من اعمال قام بها غريهانت وهوتشينسون في مطلع القرن لفحص القدرة الرئوية ؛ كما نشأت من اعمال هالدان وسوهر وباركروفت وي . هاندرسون حول الغاز في الدم ، حوالى سنة 1910 ؛ واخيراً عمل هيل حول استهلاك الاكسجين .

كان أول جهاز صالح استخدم هو مرسمة التنفس المسجلة التي وضعها بنيدكت وتتيح الاختبارات الحجمية : منها ما هو بسيط (يتناول الهواء العادي) ، والطاقة الحيوية ، والحجم التنفسي الاقصى بثالية تيفينو ، التهوية القصوى بالدقيقة ، استهلاك الاوكسجين) ، أما الاختبارات الاخرى فاكثرت تعقيداً (حيث تتناول الهواء المتبقي ، اختبارات الجهد ، الاختبارات الصيدلانية الديناميكية بواسطة الاسيتيلكولين وبواسطة الألدريدن ، دراسة قياس التنفس في كل من الرئتين) . واستكمل الاستكشاف الوظيفي حديثاً ، بالدراسة الكيميائية للهيما توز (أي معدل الاشباع الاوكسيجيني في الهيموغلوبين ، والمخزون الهيلروجيني pH في الدم ، الاحتياطي القلوي ، الدفق القلبي ، نتائج فسطرة تجويفات القلب اليمنى) .

VII - علم الفيروسات

إن دراسة الفيروسات بخلال النصف الأول من القرن العشرين قد حققت تقدماً ضخماً ، وهي اليوم تحتل مركزاً كبيراً في الطب . فمنذ السباقين العابرة (جينز والتطعيم (التلقيح) ، باستور والكَلْب) بقيت الانجازات في علم الفيروسات تافهة نوعاً ما ، وحتى مطلع القرن العشرين ظلّ

الكلام يدور حول « كائنات العقل » هذه (باستور) دون معرفتها . ان الطبيعة الفيزيائية والكيميائية في الفيروسات قد درست بوسائل جديدة منها تقنيات الزراعة المكتشفة ، ردات الفعل المناعية المقررة والمقاسة . وهكذا عن طريق علم الفيروسات ، تحسن علم الاوثة والبيولوجيا والعديد من الامراض الفيروسية ، وكذلك التطعيم ضد بعض هذه الاخيرة ، انشاء وتجدد . وحده الاستطباب الخاص لم يتقدم . من الصعب في مجال عرض الاكتشافات التمييز بين البحوث البيولوجية ، التي تتجاوز ، إلى حد بعيد ، مسائل الطب البشري ، وبين البحوث العيادية . وننصح اذن تطور الاستقصاءات جامعين فيما بينهما⁽¹⁾ .

يشكل تعريف طبيعة الفيروسات احد عناصر البحث والفكر الاكثر أهمية ، والجهد المبذول من اجل الحصول على هذه العناصر بحالة نقية يعتبر مهماً في هذا الشأن . في سنة 1935 ، عزل و . م . ستانلي بروتيناً متبرأ له صفة الفسيفساء التبخية ، واكتشافه وجود مرض خاص أمكن الحصول عليه بفضل ادخال بروتين قابل للتبلر ، قد ثبت وتؤكد من قبل بودن وبيرييه (1937) . وبعد بذل جهد للحصول ، بنفس الطريقة ، على الفيروس في الامراض الحيوانية أو البشرية ، امكنت معرفة ان تسمماً من المادة الحاصلة تأتي من المضيف بالذات (فيروس الانفلونزا ، نابت) ، ومن وجهة اخرى امكنت معرفة ان فيروسات الانسان قد تشكلت ، لا من بروتينات خاصة ، بل من غلاف معقد مؤلف ، أساساً ، من حامض ريبونوكليك (ريفرس ، فيروس التلقيح) وأخيراً ان القسمين ، البروتين والغشاة يستطيعان ، ضمن بعض الشروط ، أن ينفصلا .

وقد ثبت (ستانلي ، 1958) انه رغم ان بروتين فيروس (فسيفساء التبغ) يتمتع بخصائص الخلايا الكيميائية ، فانه هو أيضاً يتمتع بالقدرة على التناسل وعلى التنقل .

ودونما الحاج هنا على هذه التعريفات للفيروس ، والتي تلامس مسألة حدود الحياة بالذات ، يجدر ان نذكر انه من وجهة نظر عملية نعرف ان الفيروسات والريكتيسيات تصرّف بأن واحد كغيرها من العوامل الانتانية ، ولكنها أيضاً ذات سلوك خاص حاسم بفضل التكاثر الخلوي الداخلي في الاصابات من نمط التضمينات مثل اجسام نيفري (الكلب) ، واجسام غارنيري (الجذري) ، المعروفة منذ زمن بعيد عرفت طبيعتها الفيروسية . وقد تبين بوضوح ان الفيروسات تحدث خللاً ، أو إنتشاراً خلوياً (الأثر الخلوي التحللي : التلف الخلوي أو الخلوي النشط ، فيليب ، 1924 ؛ فرط التكون أو النكروز : موت موضعي نسيجي ، ريفرس ، 1928) وانها قادرة على إحداث التهاب وسمرم .

إن علم المناعة الفيروسي قد تطور بخلال القرن العشرين كما هو الحال في علم المناعة الباكثيري في القرن التاسع عشر .

إن المقاومة الطبيعية (أنواع غير حساسة) ، والموضوعة النسيجية ، الانتحاء العصبي لمرض الكساح والانتحاء الجلدي لمرض الورم الرخوي المعدي ، ودور الوراثة ، والأطعمة ، وظواهرات

(1) راجع أيضاً حول هذا الموضوع (الفقرة IV ، الفصل I من القسم الرابع) .

المناعة السلبية ، ودور الحماية بواسطة المضادات وبواسطة المناعة النسيجية ، والنقل من إنسان إلى إنسان بواسطة حيوانات مضيضة ، صنع اللقاح وفعاليته ، كل ذلك يقرب التطور التاريخي في اكتشافات علم الفيروسات من تطور علم البكتيريا الذي رسم له الطريق .

إنها اكتشافات حقيقية أو تطبيقات جديدة تقنية هي التي أتاحت تقدماً مهماً .

الطرق الفيزيائية الكيميائية - إذا كان الترشيح يتيح عزل فيروسات النباتات (فسيفساء التبغ ، د . ايشانوفسكي ، 1892) ، ثم فيروسات الحيوانات (الحمى القلاعية ، لوفلر وفروش ، 1898) ، فإن نفس الطريقة أتاحت عزل فيروس الحمى الصفراء (ريد 1901) ، المحتوى الفيروسي للتضمينات (ودروف وغودباستور) . إن التقنية بواسطة التنبذ الدوراني الفائق ، لأنماط جديدة ، والوسائل الكيميائية قد طبقت بصورة تدريجية على الفيروسات ، وكذلك التكسير الكيميائي لها . واكمل الفرز الكهربائي (الكنتروفوريز) هذه الاستقصاءات ؛ إن احجام الفيروسات قد تفرقت خاصة بالفلتر الغائقة (الفورد ، 1931 ؛ فرلغ ، 1936) . وشارك في هذه الدراسة تحليل الخصائص الفيزيائية والميكروسكوبية الالكترونية والكيميائية الضوئية التي اجتمعت مع التحليلات الدقيقة من أجل وضع سلسلة من الصور تعطي السمات الرئيسية (والمختلفة جداً) لأنواع الفيروسية .

ودخلت التفاعلات المصلية في الاستعمال من أجل معرفة هوية ودور المضادات اللذين سبق نيهانها منذ زمن بعيد فيما خص اللقاح (ستينبرغ ، بكليمر) أو بالنسبة الى الكساح (نثر وليفاديتي) .

واصبحت هذه التفاعلات المصلية عنصراً في التشخيص (اولينسكي وكازالس فيما خص الانفلونزا سنة 1947 ؛ هامون ، 1948 ؛ هانت ، 1942 مع تقنيات دقيقة فيما خص التعيين) ؛ وكذلك تثبيت المكمل بعد الحصول على زراعات على الطبيعة ، أو على نسيج موبوء مقتطع عند تشریح الإنسان بعد تمنيع باستعمال المولد المضاد (أنتيجن) (هويل ، 1937 ؛ دي باير وكوكس ، 1947) . واستكملت التقنية - التي ادخلتها التفاعلات غير الخصوصية مثل الالتصاقات ومثل الترسبات ، وهي تقنية بدأت مع « ريكيتسيا پروازيكسي » - بالتصاق الكرويات الحمراء بفعل العوامل الفيروسية (تفاعل هرست ، 1941) .

إن تقنيات الزرع على الكائنات الحية وعلى الانسجة قد أتاحت تقدماً ضخماً في مجال علم الفيروسات .

كان غودباستور (1943) هو صاحب الفكرة الأولى عن التهاب الغشاء اللتودي في البيضة ذات الجنين الدجاجي (جندي الطير ، لقاح ، هريس « مرض جلدي : قوباء ») والتي طورها فيما بعد ف . م . بورنت ومعاونوه ، ثم آخرون كثيرون (ليفاديتي ، مياكاوا ، الخ .) ، والايلاج داخل المنخ عند الفأر المولود حديثاً ، وخاصة تطور استخدام القرد لاكمال هذه الذخيرة من الاستكشاف الفيروسي .

ولكن استعمال زرع الأنسجة ، بشكل خاص ، من اجل علم الفيروس هو الذي سوف يحول ويعدل اساليب الدراسات (ر . ج . هاريسون ، 1910) .

نلاحظ في هذا المجال ان الفيروسات قادرة على التطور والنمو - بعكس البكتيريا - خارج الأنسجة الحية : من . سينهارد ، اسرايلي ولاميرت (1913) ، باركر وناي Nye (1925) قد سبقوا في هذا المجال هالانر Hallaner وساندرز Sanders وخاصة اندرس Enders (1950) . واعمال هذا الاخير تذكر باعمال كارل الذي بين ، وهو يدرس على هذا الشكل سركوم (ورم خبيث نسيجي) روس ، الطريق التي يجب سلوكها سواء في علم الفيروسات أم في علم السرطان . واتاحت تكيفات تقنية ذات قيمة عالية التقدم في هذا المجال ، فأتاحت فهماً أفضل للقادرة المرضية الخلوية ، وتأثير درجة الحرارة (دور البرد المحافظ) وتقلبات الشدة والجدة ، والتداخلات بين مختلف الفيروسات التي تصبح ذات أهمية بالغة بالنسبة إلى علم الامراض البشرية ؛ ويفضل كل هذه التحقيقات والطرق تشكلت اليوم وتستكمل كل يوم التقنيات المخصصة للتشخيص الفيروسي في امراض الانسان .

التقدم في معرفة الحالات المرضية

إن التقنيات المكتشفة والمنفذة منذ نصف قرن ، وتطورات العلوم الفيزيائية والكيميائية ، المطبقة من قبل أطباء ، وروح الملاحظة المتيقظة دائماً لدى العيادين ، قد أتاحت الوصول إلى تقدم مدهش في معرفة الحالات الباثولوجية (المرضية) التي نستعرض بعضاً من مجالاتها الرئيسية .

I - الوراثة

لقد أتاحت دراسة الامراض الوراثية ، بخلال هذه السنوات الاخيرة الوصول إلى مكتسبات مهمة . لا شك أنه ليس ابن اليوم ، التراثُ الجيدُ القاضي بأن فحص أي مريض يجب أن يسبق بدراسة « سوابقه الوراثية » ، ولكن الجدة تكمن في الميل - في مصلحة طب للاطفال - إلى ربط الوراثة بالعيادة . فضلاً عن ذلك تتحول المسائل البيولوجية ، في الوراثة ⁽¹⁾ وتتغير . إن اعمال هذه السنوات الأخيرة قد كشفت وأتاحت الولوج إلى صميم أوالية عدد من الامراض الوراثية ، خاصة ، الامراض الوراثية المتعلقة بالابيض .

وإذا كان صحيحاً ان خصوصية المادة الوراثية مرتبطة بترتيب ازواج الاساس فوق السلسلة المتعددة النوى في الخلية الكبيرة ، خلية ADN التي تشكل الصبغ (كروموسوم) ، فالتحول يمكن أن يعتبر « بروزاً » للرسالة المقننة الناتجة عن تعديل تعاقبي . توجد ثغرة حقيقية بين النظريات الحديثة حول بنية وحول وظيفة المعدات الوراثية ، ومفاهيمنا التقليدية حول الجينة المعبرة كجزء لا يتجزأ . ولكن إذا كان مفهوم الجينة ، كجزء لا ينقسم ووحدة وراثية ، يجب أن يهمل ، عند المستوى الخلوي ، فإنه يبقى صالحاً وملائماً على صعيد ملاحظتنا .

ونلاحظ مع دانت Dent ، وجود عدة أنواع بين الامراض الوراثية التي تصيب الابيض أو الانجاع . إن حالات الحصر الابيض تتطابق مع خسارة النشاط الانزيمي التي تقطع سلسلة من التفاعل عند نقطة معينة .

(1) راجع بهذا الشأن دراسة آ . تيتري (الفقرة I ، الفصل IV من القسم الرابع) .

ويرتجم الحصر بتراكم الناتج الايضي الواقع في السلسلة باتجاه الداخل ابتداء من المقطع ، فينتج عن ذلك تخزين واستبعاد مقرطان ، أو أي منهما . هذه الحصورات الايضية سببها - بدون شك - فقدان انزيم . وقد أمكن اثبات ذلك ، إلى حد ما ، مباشرة في عدد من الحالات (نقص السكر مثلاً ، غليكوجينوز) . ويقدم الاستطباب البشري ، فضلاً عن ذلك ، في حالات نقص الفوسفات ، مثلاً فريداً ، يكون فيه الشلوذ البيوكيميائي الاول ، المكتشف ، هو انعدام الانزيم .

إن التخلف العقلي ، الموصوف سنة 1934 ، في النروج من قبل فولنغ هو النمط المعبر عن هذه الحصور الايضية ذات الطبيعة الوراثية . وهناك خطأ ولادي آخر في الايض هو الغالكتوسيمي التي وصفها روس (1908) وغويرت (1917) في الحصر الميتابولي أو الايضي فيما يتعلق بتحويل الغالكتوز إلى غلوكوز ، وقد أوضح بفضل اعمال كالكار ومعاونيه سنة 1957 . إن حالات الغليكوجينوز ، التي وصفها سناير وفان كريفلد سنة 1938 ، وفان جيرك سنة 1929 و . دوربي 1949 ، قد حددت بصورة أفضل بفضل تطبيق المعطيات البيوكيميائية وتقنيات الاستكشاف التي وضعها ماير ، شونهمير (1929) ، وخاصة ك . ف . كوري (1954-1957) .

إن بعض الامراض الايضية هي نتيجة اضطراب في النقل الانبوبي . والناتج المرضية لهذه التحريفات متنوعة ؛ في بعض الاحيان تكون نافهة إلى أقصى حد كما هو الحال في الغلوكوسوري البولي [البيلة السكرية] ، وهي قد تكون قاسية كما في عارض طوني - دوربي - فانكوني . وإذا كان هذا العارض مرتبطاً في أغلب الاحيان بشذوذات ولادية في النقل الانبوبي الكلوي فإن المرض السيتيني الملحوظ لأول مرة في حياة المريض من قبل فرودنبرغ سنة 1941 هو شلوذ وراثي في الايض ذي الطبيعة المشكوك بها باعتبار أن الإصابات الكلوية ثانوية فيها بالنسبة إلى نتيجة التزايد في السيتين .

ويرأي بولنغ (1954) فإن كل الأمراض الوراثية هي أمراض خلوية ، والجينات الناقلة تحت على تشكل خلايا غير طبيعية . ومن المشكوك به أن تكون الحال دائماً هكذا . الواقع أننا نعرف القليل القليل حول طبيعة التغيرات الانزيمية في امراض الايض ، وبصورة أقوى حول التفاعلات البيوكيميائية التشريحية اما في الشكل أو في الكيفية ، حتى نقبل بمثل هذا التعبير . ثم أن استعمال هذه العبارة يجب أن يخص فقط للاصابات التي يمكن أن نكتشف فيها فعلاً مثل هذه الخلايا كما هو الحال في امراض الهوموغلوبين .

وهناك أمراض أخرى وراثية ايضية هي موضوع دراسات جديدة مثل السكري والاكزلزات ، والغارغوليسم ، وأمراض السكر التفة (بيغارت ، 1937 ؛ فورسمان ، 1942 ؛ الخ) .

إن كل هذه الاعمال قد كشفت وأناحت الولوج إلى صميم أولية عدد من الامراض الوراثية ، كما تقدم أيضاً معلومات مفيدة في الاستطباب . والمعالجة السليمة والمطبقة بسرعة قد تنجي من كوارث تتعلق بالغالكتوزيمي وبالسماقيات (البورفيرى) والهيبوغليسمي ، وتقلل من تعاسة الاشكال الأقل خطورة (والأكثر وقوعاً مما يظن) ، اشكال الموكوفيسيدوز ، وبعض أنواع امراض الانابيب ، والاختلالات الايضية التكوينية .

ونذكر أيضاً بأهمية دراسة الجنس الكروماتيني والكروموسومي فيما يخص المسائل التي تطرحها الشذوذات المتعلقة بالتفريق الجنسي ، ومختلف أنماط التقهقر الخلقي (عارض تورنر ، 1938) .

إن الجنس الكروماتيني قد اكتشف من قبل بار ومعاونيه سنة 1953 . ويوجد في نوى الخلايا الانثوية كتلة كبيرة من الكروموسومات (الصبغيات) ذات سمة خصوصية ، تبدو وكأنها تشكل قسماً من السطح الداخلي من الغشاء النووي . ووجود هذه الكتلة يحدد الجنس الكروماتيني الانثوي وغياب هذه الكتلة يحدد الجنس الكروماتيني الذكري . إن تقنيات فحص وعذ الكروموسومات قد تحسنت حالياً . فقد مكنت هذه التقنيات تيجووليفان (1956) ان يبين أن الإنسان السوي يمتلك 46 كروموسوماً في خلاياه الكروماتية . واستعمل ر . توربين دراسة الكروموسومات البشرية في زراعة الانسجة فوصف 47 كروموسوماً في الحالة المنغولية . وبين ج . لوجون ود . توربين وم . غوتيه أن التخلف المنغولي مرتبط بالثلث في الكروموسوم 21 ، وهو أول مثل من مرض وراثي نمطي بفعل الزيجان الكروموسومي . إن عوارض تورنر زوكليفلتر مرتبطة أيضاً بالزيجان الكروموسومي .

II - الاشباع والحساسية

عرفت ظاهرة الاشباع (انافيلاكسي) سنة 1902 من قبل ش . ريشيه وب . پورتيه . « إن مادة غير كافية للقتل أو لأمراض حيوان طبيعي تحدث أعراضاً مميتة عند حيوان كان في السابق ولمدة طويلة قد تلقى نفس هذه المادة » .

وأعتقد ريشيه أن المادة المولدة للاشباع يجب أن تكون سامة ، وإن يمتلك الجسم أوعية حمانية ضد هذه السمية وإن زرقة أولى تحدث في الجسم بعض التغيرات التي من شأنها رفع هذه الحماية من هنا عبارة انافيلاكسي .

وبين ارتومس سنة 1903 أن الاشباع يمكن أن يحدث أيضاً بواسطة مادة سامة مثل مصل الحصان ، وإنه في بعض الظروف تكون ردة الفعل الاشباعية غير عامة بل محصورة بموضع هو محل زرق المادة ، بشكل قشرة أو ندب . وبين روزينو واندرسن سنة 1906 في الولايات المتحدة ، واوتو (1906-1905) في ألمانيا ، إن ظاهرة الاشباع تختلف تماماً عن تشكل مضادات السموم ، وإن الزرق المتكرر لمقادير صغيرة من مولدات المضادات يحدث حالة مستعصية ، وإن التحسن يمكن أن ينتقل داخل الرحم من الأم إلى الولد ، وإن المواد التي تثير الحساسية قد تكون ذات منشأ حيواني أو نباتي أو بكتيري .

وابتكس ثون يسريه (1906) بمناسبة الدراسات حول لقاح السل ، وحول ابتكار ردة الفعل الجلدية للقاحية ، كلمة حساسية (الليرجي) وهي ذات مدلول واسع . وكان أول مظهر الليرجي عرف بهذا الشكل هو الصدمة الاشباعية التي عقت اعطاء مضادات السموم واعطاء الامصال استعطابياً . وحتى السنوات 1920-1925 امتدت حقبة أولى ظهرت فيها تشكيلية كبيرة من المظاهر ،

قرب بعضها من بعض باعتبارها اشباعية ، وحيث تحدد نوعاً ما المجال العيادي للحساسية .
في سنة 1905 فسرك . پ . بيركيه Pirquet وب . شيك Schick على هذا الشكل الامراض
المصلية ؛ سنة 1960 بين ولف - اسنر المنشأ الحساسى لريو التبن ، وجمع نون وفريمان (1910)
المعالجات الاولى لازالة الحساسية ضد غبار الطلع مستلهماً المعلومات التجريبية التي حصل عليها
بيسريديكا حول معالجة الاشباع .

أما أوير Auer وليويس Lewis (1910) فقد لاحظا أن العطب الرئيسي في الاشباع عند حيوان
المختبر هو التقبض القصوي ، واقترح ملتزير Meltzer انه قياساً على الربو القصبي يمكن أن يكون
هذا العطب مرضاً اشباعياً . وحقق م . نيكول سنة 1907 النقل السلبي للاشباع ، الذي سوف
يستخدم فيما بعد كوسيلة استقصاء عيادية من قبل برونيتر وكوستير . وادخل ج . جاداسون في
اطار الحساسية ، حالات الرفض ضد الادوية وحولها وضع لاندستينز مفهوم الهابتين . وذكر
هوتنيل ، دوير ، باريه ، شلوس الحالات الاولى عن الحساسية ضد الطعام 1910- 1908 .

ثم بخلال السنوات الخمس والعشرين التالية انصبت الجهود لتحديد مثيرات الحساسية
وتحسين وسائل اعداد المستخرجات ، وتحسين استخدامهما لتشخيص وللمعالجة حالات
الحساسية .

ويين ستورم فان ليون (1925) أهمية بوغات العفن ، ويين كوك (1921) أهمية المهيج للحساسية
من غبار المنازل . وأجريت دراسات في كل البلدان لتوضيح التوزيع الجغرافي والفصلي لمهيجات
حساسية التنفس (وورنجر ، البوغات والعفائن) ، ودور التروفرالرجين .

وأخيراً وفي مرحلة ثالثة انصبت اعمال الفيزيولوجيين على اكتشاف أواليات نسيجية ومزاجية
للحساسية .

واكتشفوا دور الوسيطات الكيميائية مثل استيلكولين (دانيالوپولو) والهستامين (سيره .
دال) واكتشفوا المفعول المضاد للحساسية في بعض الاجسام (د . بوفيه ، 1938 وهالپيرن) ،
واشتهروا بأن غياب بعض الخصائص في البلاسما ، عند بعض الأشخاص من ذوي الحساسية يلعب
دوراً حاسماً (قدرة حماية ، بندا ؛ أو هستامينوكسيك ، ج . ل . باروت ، 1951) .

إن مواجهة هذه المسائل مع المسائل التي تطرح قضايا عدم الملاءمة الدموية ، واللقاحات
النسجية ، تشعر بوجود تقدم مهم .

III - الفيتامينات

إن كلمة فيتامين ابتكرت سنة 1912 من قبل ك . فونك الذي استخرج من نخالة الرز مادة
تشفي ، بمعايير خفيفة ، من البوليفريت الطائري التجريبي . والتقدم في معرفة الفيتامينات يعود
الفضل فيه إلى أعمال فثنين من الباحثين : أولاً الاطباء الذين يحاولون شفاء الامراض الخطيرة
المعروفة منذ القدم (سكوروبوت أو فقر الدم والبرييري مثلاً) ، ثانياً المعجبون الذين يريدون

معرفة طبيعة وعدد المواد الضرورية للحياة⁽¹⁾ .

والواقع أنه منذ فونك دخلت الكيمياء بشكل باهر في مجال الفيتامينات ؛ وحوالي ثلاثين من هذه المواد تم اكتشافها ، وتوضحت صيغتها ؛ وتركيب العديد منها قد تحقق . والكثير من الفيتامينات لم يعد اليوم مستعملاً لمعالجة حالة نقص (رغم أن حالات النقص لم تعد استثنائية في البلدان الفقيرة وتلاحظ أيضاً في حضاراتنا ، عند الأطفال على أثر أخطاء غذائية يسببها الجهل) ، بل في أغلب الأحيان تستعمل الفيتامينات كعامل منشط صيدلانياً . إن الصناعة تنتج بكميات كبيرة التيامين أو فيتامين B₁ ، والريبوفلافين ، أو فيتامين B₂ ، وحامض نيكوتينيك أو فيتامين PP ، وحامض اسكوربيك أو فيتامين C .

فيتامين A - نعرف منذ زمن بعيد الهيميرالوبي والكزيروفتالمي اللتين وصفهما ماكنتزي Mc Kinise سنة 1957 . وعلاقات هذه الاضطرابات البصرية مع الفيتامين A قد ثبتت في بداية القرن . في سنة 1904 في اليابان ، وصف موري تحت اسم هيكان الاضطرابات المشابهة التي تصيب مجموعات الاولاد المحرومين من الحليب . في سنة 1913 اثبت أ . ف . مككولم وم . دافيس ، ث . ب . أسبورن ول . ب . مندل وجود عامل دهني سائل ، أو عامل A موجود في الزبدة . هذا العامل A يشفي من نقص الفيتامين التجريبي ، المشابه للجدول الانساني ، وقد أجريت التجربة على الجرذ . وصيغة هذا الفيتامين قد توضحت من 1931 إلى سنة 1933 من قبل كارير الذي أعطاه اسم اكسيروفتول . وتم تركيبه سنة 1937 من قبل : كارير ، كوهن ، وموريس . والفيتامين A- موجود بكمية كبيرة في زيت كبد المورة والفليتان وموجود أيضاً في الزبدة .

ووصف جوزيفس سنة 1944 وكافي سنة 1950 ، نقصاً في الفيتامين A مزمناً يعبر عنه تكتل في النافوخ وقد وصف هذا النقص لدى الرضيع من قبل ج . ماري ، وج . سي سنة 1955 .

فيتامين D - إن نقص النمو الشائع عند الولد معروف منذ زمن بعيد . ومعروف أيضاً أنه يمكن شفاؤه أو استبقاه ، وقد اثبت بريتونو في القرن الماضي ، بإعطاء الطفل زيت كبد المورة . وطيلة عدة سنوات ، قرن استبقاه خطأ بمفعول الفيتامين A . ولكن في سنة 1919 لاحظ آ . ميلاني أن الكساح يمكن أن يحدث تجريبياً عند جرى الكلاب إذا خضعت لنظام غني بالفيتامين A . وقليلًا قليلاً تين أن الكساح هو مرض ناتج عن نقص في الكلسيوم والفسفور وفي مادة خاصة اضافية . في سنة 1924 بين آ . هس وه . ستينوك أن تشجيع الاطعمة بأشعة فوق البنفسجية يمنع نمو الكساح التجريبي وأن أثر الاشعة فوق البنفسجية الشمسية يتيح للجسم إفراز مادة مضادة للكساح هي الفيتامين D .

وحصل وندوس وبورديلون سنة 1931 بتشجيع الارغوستيروول (ستيرول مسحوب من ارغوث الشعير من قبل ش . تسانريت) على جسم متبلر نماشط ضد نقص الفيتامين . وفي سنة 1936

(1) لقد سبق لدراسة أ . إيد Ihde أن تناولت نشأة الاعمال حول الفيتامينات (الفقرة VII ، الفصل XI من القسم الثاني) .

استخرج بروكمان من زيت كبد الفلتيان والتونا الفيتامين D الطبيعي (فيتامين D₁) . وعزل ويندوس، سنسرت ، بورديون ، اسكيو الفيتامين D₂ ، أو الكلسيفيرول الحاصل بتشعيع - في الظلام بواسطة لمبة زئبقية - الارغوستيرول الذي يلعب دور سبقي الفيتامين . في سنة 1932 قدم وندوس صيغة الفيتامين D₃ (ديهيدرو 7-8 كوليستيرول) ، مادة طبيعية دهنية ذائبة نجدها بدون اشعاع مسبق في الزيوت المستخرجة من كبد بعض الاسماك .

أتاحت هذه الاعمال معالجة شفائية واستباقية للكساح المشترك عند الرضاع . في سنة 1946 درس ر . دوبري وأعوته الحوادث الناتجة عن نقص الفيتامين D .

فيتامين E - إن الفيتامين E هو ذهني ذائب وقد عزل بفضل اعمال اطباء الرضع . في سنة 1919 وصف اوسبورن ومندل اضطرابات الوظيفة الانسالية عند الفئران الخاضعة لأنظمة غذائية مصطنعة . ومن 1922 حتى 1925 اعاد هـ . م . ايفانس وحوّز هذه التجارب ، وردا هذه الاضطرابات إلى عدم وجود مادة خصوصية دهنية ذائبة اطلق عليها اسم فيتامين E .

وقد عزلت هذه المادة سنة 1936 من قبل إيفنس وإيمرسون . وتقررت بنيتها على يد أ . فرنهولز في حين أن ب . كارير اوضح صيغها الكيميائية الثلاث وهي : الفا ، بيتا ، جاما ، توكوفيرول (1936) وقد حقق تركيبها (1938) . إن براعم القمح والذرة وكذلك معظم الشحوم غنية بالفيتامين E . ونقص الفيتامين المفاسجىء يسبب العقم في بعض البلدان (نروغ ، آدم ، 1922) . وهو مسؤول أيضاً عن حالات الاجهاض .

فيتامين K - إن مراحل اكتشاف الفيتامين K هي التالية : في سنة 1929 لاحظ الفيزيولوجي الدانمركي هنريك دام وجود نزيف عند صيصان خضعوا لنظام محروم من الشحوم . ولاحظ تأخيراً في تجمد الدم تفاداه بإعطاء الصيصان مادة دهنية ذائبة سماها فيتامين K أو (الفيتامين المجمد) . في سنة 1939 عزل كارير الفيتامين K₁ من أوراق الفالفا واستخرج دوازي الفيتامين K₂ من طحين الاسماك المتعفنة .

ونجد أيضاً بكميات كبيرة في الخضار الخضراء والسبانخ والملفوف والبندورة والصويا وكبد الخنزير . في سنة 1939 قدم كارير ، المكيس ، دوازي الخ . صيغته ونواته المشتركة هي : 12 - ميتيل 4-1 نافتاكينون⁽¹⁾ . إن النشاط الفيتاميني K يركب من قبل البكتيريا المعائية ودوره اساسي في التجميد . وهو ضروري لتركيب البروترومبين من قبل الكبد ويؤدي نقص الفيتامين هذا إلى اضطرابات نزيفية بخلال البرقان نتيجة الامتناع وهو مسؤول عن مرض النزف عند الوليد الجديد .

وهناك مضاد للفيتامين K يسمى كومارين أو ديكومارين ، وقد عزل سنة 1941 من قبل ستاهمان ، لئك ، الخ من الفصّة . واستهلاكه يؤدي إلى اضطرابات نزيفية عند البقرة .

(1) إن الفيتامين K₁ يستخدم بالزرع في الوريد أو في العضل أو يعطى عن طريق الفم . وقد تم الحصول على فيتامينات تركيبتها أكثرها استعمالاً هو الفيتامين K₄ .

مجموعة الفيتامينات B - إن النقص في فيتامين B₁ مسؤول عن مرض البري بري الذي يحدث استسقاء موضعياً مع شلل في الأطراف السفلى . وهو معروف منذ أعمال تاكاسي وإجكمان في أواخر القرن التاسع عشر . في سنة 1911 عزل فونك من نخالة الرز مادة متبلرة تشفى ، ولو بمقدار صغير التهاب الاعصاب التجريبي (« فيتامين B ذائب في الماء » مككولم ، سنة 1915) . ولكن نشاط هذه المادة بدا في الواقع معقداً جداً وأظهرت خصائصها المتنوعة أنها تتكون من عدة مركبات مختلفة النشاط .

إن المادة النشطة في استباق البري بري عزلت أولاً من قبل جانسن ودونات 1926 .

ووضعت صيغتها سنة 1931 من قبل ر . ر . ويليامس ور . وندوس : إنها اجتماع نواة تيازول ودورة بيريميدية ، من هنا اسمها ثيامين . وتركيبها قد تحقق سنة 1936 من قبل ويليامس ومن قبل وستفال واندرساغ . والكل يعلم التوسع في استخدام الفيتامين B₁ طبياً وخاصة ضد التهاب الاعصاب . ونقص الفيتامين B₂ نادر إلا في حالات نقص الاعراض . إن أعمال المتخصصين في الغذاء هي التي أتاحت اكتشافه .

في سنة 1879 عزل بليث من الحليب ملوناً أصفر سماه « ريبوفلافين » . في سنة 1927 اكتشف سيموني ومدام راندوان في المجموعة B إلى جانب الفيتامين B₁ المضاد لالتهاب الاعصاب وهو العنصر B₂ الذي تم تحقيق صيغته وتركيبه سنة 1934 من قبل كوهن وكاربر ، وهذا العامل الذي تبين أنه يشبه الريبوفلافين يشفي من مرض برص الجردان الإيطالي .

إن الخميرة واللحم والجبن والحليب والزيت هي أغذية غنية بالفيتامين B₂ الذي لا يستطيع الجسم تركيبه . والملاحظات الأولى حول نقص الفيتامين B₂ هي ملاحظات سيريل وسيدنستريكر سنة 1935 . وهو يحدث تشوهات في الفراغات الشفوية كما يحدث نقص القرنية (الكيراتيت) وأمراضاً جلدية كالتهاب الأدمة والتعرف المسرف . والفيتامين B₂ يدخل في تركيب الخميرة الصفراء ، خميرة وروبورغ ، ويلعب بالتالي دوراً مهماً في الأكسدة البيولوجية .

وسبق اكتشاف الفيتامين B₆ ، وصف نقص هذا الفيتامين . وقد عزل هذا الفيتامين سنة 1934 على يد سميت وزنت - جيورجي على اثر اعمالهما حول اكروديني الجرد [داء يصيب رؤوس الأصابع والأنف] .

وتم وضع صيغته الكيميائية سنة 1938 من قبل كيرستيزي وكوهن : فالجبن والكبد والحليب ، وخميرة البيرة غنية بفيتامين B₆ . في حين أن نقص الفيتامين التجريبي ، اكروديني الجرد ، كان معروفاً منذ زمن بعيد ، فإن نقص الفيتامين البشري قد وصف فقط سنة 1953 من قبل سنجدرمان : إذ يؤدي إلى اضطرابات لدى الرضع عندما يغتذي هؤلاء بحليب حرمة تحضيره من فيتامين B₆ . وقد وصفت أزمات حساسية بيريدوكسينية [نقص في فيتامين B₆] حصلت للمواليد الجدد والرضع ، من قبل هونت (1954) وج : ماري (1959) . وفُسر على أنها اضطرابات ايضية في الفيتامين B₆ ؛ وربما تعود إلى نفس السبب بعض الاضطرابات الايضية ، الملحوظة أحياناً عند الكبار المعالجين بكميات مهمة ومستمرة بالايرونيازيد [دواء فعال ضد السرطان] .

ويتسبب النقص في فيتامين PP بداء البرص الإيطالي (داء الذرة) المتميز باصابات جلدية (اريتيم) واضطرابات هضمية ، واضطرابات نفسانية . كانت معروفة منذ زمن بعيد ، بعد أن ظهرت في أوروبا عقب استيراد الذرة .

ومن 1915 إلى 1925 بين غولديجر بأن البرص الإيطالي سببه نقص في التغذية ، واعطى لائحة بالأطعمة التي تتيح تفاديه ، وعزل المادة الناشطة وسماها فيتامين PP (pellagra preventive) [تفادي البرص] أو فيتامين B₆ .

وأُتاحت أعمال غولديجر ، زنت - جيورجي (1937) ومدام راندوان وميمونييه (1938) الحصول على الصيغة الكيميائية وتحقيق تركيب الفيتامين PP ، أميد أسيد نيكوتينيك الذي يدخل في العديد من المستحضرات الانزيمية . إن خميرة البيرة والكبد هي غنية جداً بفيتامين PP . والتقارير حول نقص الفيتامين PP ومرض السماق الولادي أو مرض غونتر هي غير واضحة تماماً . من المعروف فضلاً عن ذلك أن نشاط الفيتامين PP يعزى إلى بعض السولفاميد ، من هنا استخدام هذا الفيتامين أثناء المعالجات بالسولفاميد .

إن فقر الدم الخبيث ، أو مرض بيرمر كان سببه مجهولاً ، وتطوره ممتاً حتى سنة 1920 . في هذا التاريخ ، درس ج . هـ . ويل ، القيمة المقارنة لمختلف المواد الغذائية في إشفاء الفقر التجريبي المستحدث على الكلب بفعل الفصد المتكرر ، واكتشف الاثر الفعال لكبد العجل .

في سنة 1926 أثبت ج . ر . مينوت Minot وو . ب . مورفي ، لأول مرة ، على الانسان ، القيمة العالية لكبد العجل كمعالج ضد الفقر في الدم الخبيث ، مما حملهما على الظن أن هذا الفقر هو مرض نقص سببه عدم وجود مادة موجودة في الكبد النقي . وتوصل كوهن فيما بعد إلى الحصول على استحلاب كبدي بشكل مشروب ثم بشكل زرقات ، له فعالية كبيرة . إن حامض الفوليك ، الذي حقق ر . ج . أنجيه تركيبته سنة 1946 أعطى نتائج مفيدة ضد هذا المرض ، وساد الاعتقاد برهه أنه تم العثور في هذه المادة على العلاج الضروري ضد هذا المرض الخبيث . في سنة 1947 ، عزلت ماري شورب من مستحلب الكبد ، مادة ضرورية لنمو زراعة « لاكتوباسيلوس لاكتيس » ولها نشاط مضاد للمرض الخبيث . في سنة 1948 ، نقى أ . ل . ريكس ون . ج . برنك ، في نيوجرسي ، هذه المادة ، وبلأها بشكل ابر حمراء . وفي نفس السنة ، حقق أ . ل . سميث وباركر في انكلترا الاكتشاف من جديد . إن بنية الفيتامين B₁₂ أو سيانوبيلامين قد توصلت ، في سنة 1955 ، وفي مختبرات الكسندر تود (كمبريدج) ومختبرات كارل فولكرس (الولايات المتحدة الاميركية) ، انطلاقاً من دراسات حققت بواسطة أشعة X علي يد د . ك . هودكين ، ومن قبل ك . ن . ترولبلود Truelblood . إن الامر يتعلق بمركب بورفيرى معقد جداً يحتوي على ذرة من الكوبالت (C₅₉H₉₈O₁₄N₁₄PCo) .

هذا الفيتامين B₁₂ ، الضروري لنمو الكريات الحمراء (هماسي) ، يصحح الاضطراب الدموي ، فقر بيرمر ، وبذات الوقت يصحح الاضطرابات الهضمية التي تقترب به لانه عامل أيضا من الميثلين . فإذا دخل الجسم ، خاصة عن طريق الغذاء اللحومي ، فيجب أن يستكمل عند

مروره بالمعدة ، بمادة داخلية ، بروتين غشائي تفرزه الخلايا الغشائية عند عنق الغدد الهضمية ، مادة مفقودة عند مرضى المعدة (بيرمران) .

ضمن هذا الشرط يمتص العامل عند مستوى خطوط الاعصاب (تراكتوس) الهضمية ويخزن في الكبد . وتعطي هذه المادة نتائج رائعة ضد فقر دم « بيرمر » شرط أن يجري الاعطاء بمقادير كافية ومتشابهة . في الوقت الحاضر ، يتم صنع الفيتامين B₁₂ صناعياً انطلاقاً من زراعة الستربتوميس غريزوس ، منذ الاكتشاف الذي حققه م . شورب Shorb .

إن الحامض المسمى « بارا أمينوزويك » (P. A. B) قد اكتشف من قبل ماكنتوش وويتزي (1939) وعزل في نفس السنة اخذاً من خميرة البيرة (رويو Rubbo وجيلسبي Gillespie) .

وتركيب هذا الحامض (P. A. B) قريب من السولفايد . وبالفعل أن الأمر يتعلق بمتصافن حامض « بارا - أمينو - فينيل » سولفايد ، حدث يفسر أسلوب تأثير السولفايد . وبالفعل ، إن الجذر سولفايد يحل محل الـ (P. A. B) فيحرم بالتالي البكتيريا من هذا الانزيم الضروري لنموها . إن الدور الأساسي لـ (P. A. B) هو أنه يتيح نمو الأجسام الميكروسكوبية .

وهناك مواد أخرى من مجموعة فيتامينات B قد تم التعرف عليها في صفار البيض ، وفي الكبد واغذية متنوعة ذات قيمة غذائية عالية . من ذلك أن البيوتين (B₇) وحامض بانتوجينيك (B₅) ، وحامض پتروبيك قد تم عزلها وتشابهت وظائفها .

الفيتامينات C و P - يُعرف منذ زمن بعيد أن داء الاسقربوط أو الحفار ، أو فقر الدم ، مرض قديم قدم الحضارة ، هو إصابة نقصية ، وفي القرن الأخير ، ثبتت فعالية البرتقال والليمون الحامض ضد فقر الدم (اسقربوط) . إن الدراسة التجريبية المجراة على حيوان المختبر (كويبي) أكدت هذا الواقع ، ولكن عزل العامل النشط الموجود داخل هذه الأثمار ، بدا صعباً ، بفعل عدم استقراره أمام القلويات والعوامل المؤكسدة . إلا أنه في سنة 1929 ، حصل باحثون مختلفون على مُركَّب ناشط جداً ، هو الفيتامين C . والتقدم المهم المحقق في دراسة السكاكر ، أتاح ، منذ 1933 ، لهرست ، وهوارث ، وكارير ورايخشتاين Reichstein ، وضع الصيغة وتحقيق تركيب هذا المركب الذي طلق عليه زنت - جيورجي وهوارث اسم أسيد أسكوربيك . في سنة 1936 ، اكتشف زنت - جيورجي في مستخرج ليمون الحامض إلى جانب الفيتامين C ، عاملاً له مفعول ضد النزف سماه فيتامين P . وهو عامل تسرب وعائي أوفيتامين ضد النزف ، ماهاه لاقولي مع الـ أيبكاتشين (1940) . ويتسعمل هذا الفيتامين ، الموجود بشكل خاص في الحمضيات ، ضد فقر الدم الخبيث وأيضاً ضد بعض الاعراض النزفية . نذكر أن الاسقربوط (فقر الدم الخبيث) يلاحظ في (فرنسا) عند الرضع الذين يقتصرون فقط على الحليب المعقم والحليب الطحيني (الناشف) والذين تظهر عليهم اعراض النزيف وضعف العظام .

IV - علم الغدد الصماء

لن نعود إلى نشأة علم الغدد ، ولا إلى الاتجاهات العامة حول تطوره ⁽¹⁾ . يمثل تاريخ علم الغدد أحد الأمثلة الأكثر إثارة للاعجاب بالتقدم الحاصل بين العيادة والكيمياء البيولوجية ؛ وهذا التاريخ لم يكتمل بعد . ولكنه يقتني كل يوم باكتشافات جديدة . وعرضنا يتناول أساساً آثاره الطبية ، وينظر على التوالي إلى الهرمونات التي تفرزها الغدد الصماء المختلفة .

إن بعض الغدد ليست محكومة بغدة أخرى (مثل البنكرياس أو الحلوة ، شبه الدرقية ، فوق الكلية) ؛ بالمقابل أن الهيبوفيز (النخامية) الامامية تحفز الدرقية والمناسل وفوق الكلتيين . وبواسطة الهيبوفيز (النخامية) الخلفية ، يفتح المجال الواسع ، مجال الهرمونات ذات المنشأ العصبي ، والتي يتحكم بعضها ، ربما بما قبل النخامية (أنتيهوفيز) .

الانسولين ، هورمون البنكرياس (الحلوة) - استطاع فون ميرنج ومينكوسكي (1889) أن يجعلوا كلاباً مرضى بمرض السكري وذلك باستئصال البنكرياس . وبنفس الحقبة تقريباً ، عزيت وظيفة صمائية لجُزيرات لانجرهانس ، المنتشرة في الغدة ، واطلق اسم انسولين سنة 1909 ، من قبل ج . دي ماير على الهورمون المفترض . وبدأت مستحلبات عدة ذات نشاط مشكوك به . وحضر ف . ج . بانتنغ ، وش . بست (1921) ، وج . ج . ماكليود ، بواسطة أسلوب شبيه جداً بأسلوب - لم يعلن عنه - أ . غلاي (1905) مستحلباً من بنكرياس الكلب ، يخفض مرض السكر في الكلب المتأصلة بنكرياسه . ومنذ 1922 ، عالجوا مرض السكري من البشر بواسطة انسولين بقرى ، وهذا الاكتشاف غير تطور ومعالجة السكري .

وتحسنت فيما بعد طرق تحضير الانسولين فعمد ج . ج . آبل (1926) ، هاجيدورن (1936) وآخرون ، إلى تحضير انسولينات متنوعة وثمينة بسبب نشاطها المستمر (انسولين بروتامين - زنك) . ونجح ف . سانجر (1953) في وضع صيغة هذه الخلية الكبيرة البروتينية .

يتيح الانسولين استعمال الغلوكوكز الدائر بتركيز ضعيف ، وتخزين الغليكوجين في الكبد وفي العضل . إن خزع فوق الكلوية والنخامية (مدرستاب . هوساي وك . لونغ ، 1935-1940) قد بالغ في مفعول الانسولين في انقاص السكر (هيبوغليسميان) إلى حد الخطورة ، فالمستحلبات فوق الكلوية (لونغ) أو النخامية (هيبوفيز) (يونغ 1937) تناقص هذا المفعول ، مما يوحي بأن البنكرياس لا تعبر عن كل السكري المعروف ، المرض الوراثي . إن المعالجة بالانسولين التي تتيح لملايين الناس العيش والانسال ، تساعد على انتشار الجينة إلى أقصى حد .

إن أعمال سوسكين (1930-1952) ، وليقين (1950) ، مآن وماغات (1903-1927) ، ويونغ ، فورسل وليكتشتاين (1935-1950) ، غيست (1947-1957) حول توليد السكر الجديد وحول الايض الانزيمي بين الخلايا ، حملت على اعتبار السكري كنقص صمائي يعالج فقط

(1) راجع بهذا الموضوع الفقرة IV ، الفصل II من القسم الرابع التي تحلل أيضاً الجوانب البيوكيميائية والفيزيولوجية للنشاط الغندي الصمائي .

بالاستطباب الهورموني الاستبدالي المكيف بمرونة بالغة .

منذ 1922 (ماك ليود) كان معروفاً أن بعض أنواع الانسولين المعطى عبر الوريد ، كان يرفع مرحلياً السكر ، واليوم يعتبر الغلوكاغون مسؤولاً عن هذا ، وهو هورمون تفرزه الخلايا الفا في جزيرات لانجرهانس (الانسولين تفرزه الخلايا بيتا) ، وهو يجند الغليكوجين الكبدي (بورجر وغراندت ، 1935 ؛ وسوذرلاند وكوري Cori ؛ فريبر ودوف 1953) .

الهورمون الباراثاير ويدي أو هورمون شبه الدرقية - هذا الهورمون المسمى باراثورمون ، تفرزه غدة صغيرة جداً متاخمة للدرقية وصفها ساندستروم (1880) . واستئصال الغدة الصغيرة يتسبب بكنزاز قاتل (غلاي ، 1893-1910) عزاء و . ج . ماك - كالوم وك . فوغتلين (1909) إلى نقص في الكالسيوم الدموي ، واستخرج الباراثورمون من قبل ج . ب . كولب (1925) . وهو ذو تكوين غير موضح بعد ، ويتحكم - ربما - مباشرة بالايض الفوسفوري - الكلبي في العظم . وهو يؤثر بالتأكيد في الكلية حيث ينشط طرد الفوسفات (ألبرايت) ، الذي يؤدي خفضه في الدم إلى ارتفاع الكالسيوم فيه .

إن فقدان الكالسيوم في مرض العظام اللبني ، عند ريكلينغهوسن Recklinghausen (1891) يعزوه م . اسكاسي (1904) وشلا جنهوفر Schlagenhauser (1915) إلى ورم في شبه الدرقية التي تفرز الكثير من الهورمون ، وهذا أمر أثبتته بالتشريح ماندل Mandl (1925) . إن النقص الهورموني بسبب كزازاً ، وهو واحد من مسبباته العديدة . إن الهورمون الباراثايرويد (شبه الدرقي) لا يستعمل إلا لاستكشاف قيمة الغدة أو قيمة الايض الفوسفوري الكلبي . ولمعالجته ، يُفضل له أما الفيتامين D₂ ، أو مشتقه وهو ديهيدروتا - شيستيروك (آ . ت . 10 : 10 A. T.) .

الأدرينالين ، هورمون وسط فوق الكلية (لب الكظر) - رغم أن الموت بسبب خزن فوق الكلية (براون - سيكارد Brown-Séquard ، 1856) يعزى إلى الحرمان من المنطقة الخارجية ، القشرية ، فإن لب الكظر بقي لمدة طويلة مدروساً ومعروفاً بصورة أفضل من القشرة (كورتكس) .

لاحظ أوليفر وشاربي - شافر (1895) أثر المستحلب الرافع للضغط ، الذي تبلر مبداه الناشط سنة 1901 على يد ت . ب . الدريش وج . تاكامين ؛ وسماء هذان الاخيران ادرينالين . وعُرف تركيبه ، أول تركيب لهورمون (ف . ستولز ، 1904) قبل معرفة صيغته الصحيحة (فريدمان ، 1906) .

بمياومعتدل ، يقلص الأدرينالين غالبية الشرايين والشعريات ، ولهذا يحصل ارتفاع الضغط ولكنه يمدد شرايين وشعريات العضلات المخططة . وهو حين يستنفر غليكوجين الكبد والعضل فإنه يرفع نسبة تحلون الدم مما يسمح باستهلاك نسيجي متزايد للغلوكوز ؛ ويزيد عدد الكريات الحمر المتجولة ، ويرفع معدل التخثر ، ويمدد القصيات ؛ كما يحافظ - في مستوى بعض البنيات الدماغية - على نوع من التنبه الركيزي (ديل ، 1954-1958) . وعلى العموم ، يزيد الهورمون في الوسائل التي تمكن من مواجهة الاعتداء ؛ وعندها يكون قد أفرز (و . ب . كاتون

1911-1933) وذلك بإعمال الجهاز العصبي ، الذي يكون تضيقه كثير التعقيد .

وإلى كانون Cannon أيضاً ، في حال عدم وجود فوق الكليتين ، يعود فضل تبين أن إثارة الجهاز الودي تطلق أيضاً مادة قريبة من الأدرينالين ، هي السوترين (سماتين) E أو نورادرينالين (1931) . إن هذه المادة تفرز عند الأطراف المسماة « المنشطة الأدرينالية للجهاز الودي » وهذه الأطراف لها نفس المنشأ الجنيني الذي لُلب الكظر . إن التطورات الحديثة في فيزيولوجيا لب الكظر تساعد على دمج هذه الغدة تماماً ضمن الجهاز الودي المستقيم (مالميجاك Malmejac ، 1959) ، دون التخلي عن مفهوم افراز ركيزي من الأدرينالين (تورناد وشابرول ، 1923) . إن بعض الأورام في الغدة تتسبب بارتفاع ضغط يبلغ حد النوبة (ف . فرانكل ، 1886) أو دائم ، يتحسن بعد استئصال الغدة (مايوت ، 1927) .

هورمون القسم الأمامي من النخامية - شأهت نهاية القرن التاسع عشر تقريباً القزمية والقصاعة [توفت النموالطنفولي] من تلف النخامية (لوفاني ، 1871 ؛ أقدهيم ، 1916) ، وضخامة الأطراف (اكروميغالي) من بعض الاورام (پ . ماري ، 1886) ، والنحول العام العميق من تلف عميق في الغدة (سيموندس ، 1914) .

إن الاستئصالات الاولى ، عند الثدييات (بوليسكو 1908 ؛ كوشنغ ، كاموس وروسي ، 1920) لا تتيح اجراء ميزانية دقيقة للنقص . في سنة 1921 أثبت ايفانس أن القسم الأمامي من الغدة يصنع هورمون النمو . وبعد ذلك بقليل بين سميت أن استئصالها يوقف النمو ، ولكنه أيضاً يضمر المناسل والقشرة فوق الكلية . إن مقتطعات من القسم الأمامي تسبب في العملاقة .

وفي سنة 1924 قرر كوريه Courier ، بالنسبة إلى التيرويد (الدرقية) ، وجود توازن بين ما تفرزه كل غدة وافراز السيتولين النخامي الموازي .

وعزيت عشرات الهورمونات المختلفة إلى النخامية الداخلية (انتي - هيوفيز) . ستة منها فقط لا جدال حولها ، وكلها ذات طبيعة بروتينية .

إن « هورمون النمو » المنقى من قبل لي وإيفانس (1944) ليس فقط عامل نمو . من الاعمال الحديثة تبين أن له مفعولاً كلي الحضور كمسهل ، وإنه يساعد ، فيما يساعد ، عمل الهورمونات الاخرى .

فهو ، بمعارضته استخدام الغلوكوز ، وتسهيله استخدام الشحوم ، يتيح للجسم أن يحافظ ، أثناء الصيام ، على معدل سكري (غليسيميك) ضروري للدماغ . فإذا كثر أوقع في السكري (يونغ Young ، 1937) .

والهورمونات المستخرجة من المواشي ليس لها فعالية في الانسان ، ولكن هورمونات الانسان أو القروود ذات فعالية ، هذا الفرق يفسر باختلاف بنية هذه الخلايا الكبرى (لي ، 1956-1959) ، وهضم الهورمون الحيواني (المواشي) جزئياً كان يمكن أن يقدم إلى لي (1958) هورموناً صالحاً للانسان .

إن الهورمونات الأخرى ، بخلاف هورمون النمو ، ذي المفعول الانتشاري ، الصادرة عن النخامية الداخلية ، تحفز انتقائياً الغدد الأخرى .

والهورمون الذي ينتج ناحية الدرقية ، المحضر من قبل لويب وبأس (1929) والذي يحفز النمو ووظائف الدرقية (تثبيت اليود ، تركيب هورمونات درقية) ، قلماً يستخدم إلا من أجل التثبيت من القيمة الوظيفية للدرقية : تثبيت اليود المشع .

إن الهورمون الذي ينتج ناحية القشرة (كورتيكوتروب) (A. C. T. H) ، والذي حضره كوليب (1933) ، ونقاه لي (1942) ، وسايرس Sayers (1943) ، يقاوم ضهور الكورتكس (القشرة فوق الكلية) بعد استئصال النخامية . فهو يخفض معدل الحمض اسكوربيك والكولستيرول (مدرسة لونغ ، 1943) ، ويحفز فيها تركيب هورمونات من نمط الكورتيزون ، مما يفسر اليوم ، استعماله بأن واحد مع هذه المادة (الكورتيزون) . وهو يستعمل أيضاً لاستكشاف القيمة الوظيفية في القشرة فوق الكلية . إن البنية البوليبينية (تعددية الخواثر) لهذا الهورمون قد وضحت في عدة مختبرات اميركية ؛ في سنة 1960 ، أعلن ك . هوفمان (بيتسبورغ) ، تركيب مادة ذات نشاط بيولوجي مثيل .

في سنة 1926 . سرع پ . أ . سميث وب . زوندك البلوغ الجنسي في إناث الجرذ وذلك بزروع اجزاء من النخامية . إن النشاط المتنوع للمستحلبات تفرض فكرة مبدئين مختلفين ، الهورمونات ذات الانتحاء المنسلي : هورمون - فوليكولو - سيمولانت (الهورمون - الجرابي - الحافز) (F. S. H) الذي يحفز نمو الجريب المبيضي ثم الهورمون الملون [هورمون يهيء الرحم لقبول البيضة الملقحة] (L. H) الذي يعمل على تفريز هورمون أوستروجيني ، ثم ، بكميات كافية ، يطرد البيضة خارج الجريب حيث يتكون عندئذ الجسم الأصفر (لوتنة) . إلا أن الجسم الأصفر وعلى الأقل عند الجرذ ، لا يكون نتاجه الخاص ، الهرجسترون ، إلا بفضل مادة ثالثة نخامية هي « لوتيو - تروب » . هذا الهورمون ، الذي سوف يماهى ، بعد 1940 ، مع الهرولاكتين ، المكتشف سنة 1929 من قبل ستريكر Stricker وغروتر Grueter يلعب دوراً حاسماً في افراز الحليب .

إن التعقيد الأقصى في العلاقات بين النخامية والمناسل يفسر عدم وضوح المعارف الحالية ؛ إلا أن القصور في F. S. H و L. H لا يتيح البلوغ ، وبدرجة أدنى ، لا يتيح الاباضة . إن بول الخصيان يحتوي كميات كبيرة من الهورمونات المنسلية المنحى ، قد تكون F.S.H زائد L.H . إن الهورمونات منسلية المنحى تفرزها أيضاً المشيمة ، وتوجد بكميات كبيرة في البول وفي الدم أثناء الحمل (أشهايم وزوندك) .

إن اكتشاف الهورمونات السخدية (پرولان) ذات المنشأ المشيمي قد أوصلت إلى تحقيق اختبارات باهرة في البيولوجيا الهورمونية : أي التشخيص البيولوجي للحمل (أشهايم Aschheim وزوندك Zondek ، 1928) .

الهورمونات النخامية - في سنة 1895 ، استخرج أ . بومان من الدرقية بروتيناً يودياً . سنة 1915 عزل أ . ك . كيندال مادة متبلرة ناشطة جداً ، أوضح ش . ر . هارينغتون صيغتها (1926)

وقام ج . بارجر بتركيبها (1927) . لقد ظل التيروكسين أو تترا - يودو - تيرونين لمدة طويلة معتبراً من أجل المادة الدرقية الناشطة وحدها فيه . في سنة 1952 ، عمل روش ، غروس وبيت - ريفرس ، كل على حدة ، فعرفوا في الدرقية تريودو - تيرونين ، أكثر نشاطاً من التيروكسين . وبصورة أقرب تم التعرف على مواد أخرى أكثر نشاطاً إلى حد ما .

وهناك مكنسبات أخرى أكثر حسماً طبعت السنوات الأخيرة بطابعها . وكان الامر أولاً يتعلق باستعمال مواد طبيعية (ملفوف : شني Chesney ، 1928) أو اصطناعية (سيانور : مارين ، 1932 ؛ مشتقات الثيوري : ريختر ، 1941) تتعارض مع مراحل متنوعة في التركيب الهورموني . واستعمل بعضها في معالجة زيادة إفراز الغدة الدرقية .

ويتوجب في المقام الثاني استعمال اليود المشع (¹³¹I ثم ¹³²I) الذي يثبت بصورة فضلى فوق الغدة الدرقية (هرتز ومجموعته ، 1938-1941 ؛ لبلوند Leblond ورسو Süe ، 1940-1941) قبل الدخول في سلسلة التركيب الهورموني . وتثبت اليود المشع أصبح وسيلة رئيسية في استكشاف القيمة الوظيفية للغدة الدرقية عند الإنسان ؛ وبمعايير قوية قد يدمر الغدة (هاملتون ، هرتز ، 1942) .

إن قيام جوليت Joliot ، كورييه Courier ، هورو Horeau ، ومو (1944) بتحضير التيروكسين المشع ، وهو أول هورمون موسوم ، والدفعة التي أعطاها شايكوف (1947) لدراسة التركيب البيولوجي للهورمونات الدرقية أدّى بكثير من المدارس (خاصة مدرسة روش) إلى توضيح المراحل وإلى تعيين مواضع التعتيل الولادي في بعض الحوصلات البشرية .

وبعد تيسير عمليات الأكسدة الخلوية ، ترفع الهورمونات الدرقية الأيض الركيزي (مغنوس - ليفي Magnus-Levy ، 1895) . وفي حال الزيادة إنها تسبب مرض بازيدو الذي يكمن أصله ، في أغلب الأحيان ، في إثارة للغدة النخامية في الدماغ . أما الورم الغدي المخاطي فهو تعبير رئيسي عن ضعف الغدة الدرقية .

وهذا النقص قد يعزى إلى تدمير الغدة الدرقية أو إلى نقص في الحفز النخامي (مينس ، 1940) . وهو لا يقترن ببروز السلعة (الحوصلة) إلا إذا كان ثمة تعطيل لأوالية التركيب البيولوجي أو كان هناك نقص في اليود . وبين 1850 و1860 عزا شاتين Chatin السلعة إلى فقر التربة باليود ونصح باستعمال اليود لتفادي السلعة المستعصية .

هورمونات الخصيتين - في الأنابيب المنوية حيث تتولّد المنويات ، اكتشف ليديغ سنة 1850 نسيجاً حشويّاً . ونجحت مدرسة بوين (1903-1933) في إثبات أن هذا النسيج يفرز هورمون المذكورة حيث أثبت أعمال برتهولد (1849) على الديك ، وأعمال ستيناك (1894) على القواضم وأعمال بيزارد (1911-1923) على الفرخ المخصي على وجود هذا الهورمون الذكوري وكذلك الملاحظات حول الخصيان (تندر Tandler وغروز Grosz ، 1907-1910) .

وبعد أول مستحلب ناشط من عرف الفرخ (بيزارد ، 1911) جاء مستحلب ملك جي (1927) ثم مستحلب مور ، غالاغر ، وكوش (1929) . وفي سنة 1935 سحبت مدرسة لاكور من الخصية مادة ،

ستيرودية متبلرة إسمها تستوستيرون ، سرعان ما ركبها روزيكاو وتستين Wettstein في سويسرا ، وبوتيناند Butenandt في ألمانيا ، جيرارد ثم روسل في فرنسا . في سنة 1931 و 1934 استخرج بوتيناند من البول مولدين ذكريين آخرين هما أندروستيرون (تركيب روزيكا ، 1934) ثم دي - هيدرو - أندرو - ستيرون . واعتبر التستوستيرون الهورمون الأكثر بروزاً في الخصية ، مرة ، ولكنه تفقر في الجسم أمام عدة مواد منها 17 - ستوستيرويد التي عرفت بسهولة في البول بفضل تفاعل زيمرمان (1935) . إن هورمونات القشرة فوق الكلية تعطي أيضاً ستوستيرويد .

ويحقن هورمون نخامي شبيه بهورمون لوتينيزي (L. H) إفراز الأندروجين (مسبب الذكورة) الذي يحد بدوره من إفراز L. H . إن الأنايب المنوية يحفزها FSH وربما يحفزها مسبب الذكورة (أندروجين) . وإلى جانب المفاعيل الأكثر شهرة من الأندروجينات على السمات الجنسية الثانوية الذكورية ، يضاف الحبس الأزوتي الذي يقربها من هورمون النمو فضلاً عن ذلك يلعب إفراز الخصية دوراً مبكراً جداً ، لأنه يقوبل في جنين الثدييات المجاري التناسلية باتجاه الذكورة إنطلاقاً من النمط الانثوي الحيادي (جوست Jost ، 1947) . وقيل الولادة ، عند القواضم ، يحد بصورة نهائية إفراز L. H بواسطة النخامية فيعطيه سمة الذكورة (فيفر ، 1936) . والخصيني (تستوستيرون) أو المواد الاصطناعية القريبة تذلّل عواقب الاختصاص أو سن اليأس عند الرجل وعند المرأة .

هورمونات المبيض - لم يؤدّ الخصي (الخفض) للحيوانات الانثى ، ولا المعرفة الجيدة بالمبيض ، والتي يعود تاريخها إلى غراف الذي وصف الجراب المبيض (1675) حيث وجد فون باير (1827) الببضة ، كل هذه الاعمال لم تؤدّ إلى وجود إفراز داخلي في الغدة . ولن يثبت بيان هذا الافراز إلا سنة 1895 على يد كنويزر Knauer الذي استطاع أن يعيد الدورة الشهرية التي عطلها الخصي عن عملها . ومنذ سنة 1906 استحضّر مارشال وجولي على مستحلب يحدث الجيل « rut » عند الكلبة . ولكن التقدم المفيد لم يتحقق إلا على أثر دراسات جرت على العادة الشهرية عند القواضم (ستوكارد وبابانيكولاو Papanicolaou ، 1917 ، لونغ وإيفانس ، 1920) ، وأثبت أ . إلن ودوازي Doisy سنة 1923 أن تليف المهيل دليل على نشاط مبيضي (استروجيني) . وفي سنة 1924 بين دوازي ، ألن وكوريه أن السائل الجرابي هو مولد انثوي (استروجيني) .

ثم جرى اكتشاف مصادر أخرى للاستروجيني : بول المرأة الحامل (أشهايم وزوندك ، 1927) ، البول (هانسلر ، 1934) والخصية (زوندك ، 1935) عند المهر . من بول المرأة الحامل استخرج دوازي (1929) وبوتيناند (1929) أول استروجيني متبلر وهو الاسترون الذي وضع صيفته الستيرودية بوتيناند سنة 1932 . وانطلاقاً من الاسترون استحضّر شونيك وهيلد برانت (1933) الأوستراديول الذي عثر عليه دوازي في مبيض الخنزيرة . والاسترايديول نشيط جداً وهو يعتبر الهورمون الطبيعي الحقيقي . وتم التعرف على مواد أخرى طبيعية : اوستريول مستخرج من البول عند الحمل (ماريان ، 1930) أو من المشيمة البشرية (كوليب ، 1930) ، اكيلين مستخرج من بول الفرس الحامل (جيرارد 1923-1936) . وفي سنة 1938 سجل دودز Dodds ستيلبو سترو

في رأس اللاتحة الطويلة اليوم من الاوستريجينات الاصطناعية التي تتضمن الحوامض دواسيلونيك (ميشر ، 1954) والحوامض اللينوليك (هوروجاكس ، 1947) .

في الجريب الذي قذف البيضة بتكون جسم اصفر وبنيته هي بنية الغدة الصماء (برينانت 1898) وهو ضروري للحمل (فرانكل 1901) وهو يعمل على تشكيل الدنتيللا المهيبة الضرورية لتمرکز البيضة (بوين وانسل ، 1909). وارتكزت تجربة كورنر وو . م . الن (بروجستين ، 1929) على الدنتيللا فأتاحت تقدماً حاسماً في تنقية المستحلبات التي تنذر بالاسقاط بعد استئصال الاجسام الصفراء . في سنة 1934 تم عزل البروجسترون المتبلر (بوتيناند ، ونترستايئر Wintersteiner) الذي وضعت صيفته الستيرويدية ، وتحقق تركيبه جزئياً في نفس السنة (بوتيناند) .

سنة 1937-1938 بين فيننغ وبروني أن تعبير اليرغنانديول البولي ينشئ عن افراز پروجسترون الذي هو من مستحضراته التقهقرية . ويحتوي المبيض أيضاً على نسج حشوي ، ذي دور ما يزال غير واضح ، ولكنه ، على الأقل في بعض الظروف ، يولد اندروجينات [حافزات الذكورة] (غوينو Guyénot ، 1932 ؛ هيل Hill 1937) .

وينمي الاستروجين ، مجرى البويضة ، والمهبل ، والمشفر ، والغدة الحليبية ، فيحضرها لعمل الهروجسترون ، الذي ينشئ فيما ينشئ المهاد المهلي . إن بعض الانتفاخات المبيضية تفرز كميات كبيرة من الاستروجين والاندروجين تستطيع أن تحقق نضجاً (بلوغاً) كاذباً مبكراً ، أو فيما بعد الذكورية . إن المعرفة التي ما تزال غير واضحة بالعلاقات المعقدة جداً في الهرمونات المبيضية ، فيما بينها ، وفيما بين الهرمونات ذات الانتحاء المنسلي ، تفسر اللاحقين النسبي في معالجة بعض الاضطرابات الامراضية النسائية ، ذات المنشأ - ربما - الهرموني . في الحالة القصوى حالة عدم رجود مبيض ، وحده الاستروجين يلغي هبات الحرارة ، ويشمي الثديين ، وإذا كانت المعالجة متقطعة ، فإنها تتيح الحيض ولكن إضافة الهروجسترون تتيح دورات اصطناعية أفضل .

وتكتسب المشيمة عند المرأة وظائف مهمة صمائية لان المشيمة تعد لها فقط هورموناً مشيمياً (أشهايم وزوندك ، 1927) يحفز افراز الهروجسترون بواسطة الجسم الاصفر ، بل وأيضاً ، وبرأي كورييه (1945) ، استروجيناً وپروجسترون ، مما يفسر تتابع الحمل بعد الخمني .

هورمونات القشرة فوق الكلية - في نظر برون - سيكارد (1856) تعتبر الغدة فوق الكلية ضرورية للحياة . وقد قرر آ . بيلد (1910) بقوة أن الامر كذلك بالنسبة إلى الكورتكس (القشرة) .

وتم تحضير مستحلبات (روغوف وستيوارت ، 1927 ؛ سوينغل وفيغفر ، 1929 ؛ هارتمان وفريقه) أتاحت استمرار حياة الحيوان المحروم من غدد فوق الكلية . وتم سحب مواد متبلرة ناشطة جداً (غرولمان وفيرور ، 1933 ؛ كيندال ، 1935 ؛ ونترستينر وفيغفر ، 1935) ذات طبيعة ستيرويدية كما الهرمونات المنسلية .

الواقع أن القشرة فوق الكلية تتج مواد مختلفة جداً منها :

أ - الدوستيرون ، الذي يقاوم هرب الصوديوم الكليوي ، وهو محفوظ لا به A.C.T.H ، بل ربما بنور وهورمون ديانسفالي [دماغي] (روشكولب وفارل ، 1956) .

ب - فإذا حفز به A. C. T. H فهو يفرز غلوكو - كورتيكويد من نمط الكورتيزون التي تساعد على تحويل البروتينات إلى غلوكوز . وكل اعتداء يطلق جواباً بين غدة فوق الكلية (سيللي) فيتج بفضل أليات التركيب البيولوجي ، التي توضحت حديثاً من قبل مدرسة بينوس ، يطلق كثيراً من هذه المواد . وهذه تنظم الزخم ، المدمر أحياناً ، لردّات فعل دفاعية ، من الجسم . واستخراج المستحلبات الأولى المتبلرة من القشرة فوق الكلية أطلق بحوثاً خصبة .

منذ سنة 1935-1936 تم عزل دي - هيدرو - كورتيكو - ستيرون (مازون ، ادوارد ، كندال) وكذلك الكورتيكوسترون (مازون ، كندال ، رايبشتاين) والكورتيزون ، مركب E من كندال (وترستينر وفيغنز ، كندال) . في سنة 1937 تم عزل الـ آرينو - ستيرون (رايبشتاين) ، والهيدروكورتيزون ، مركب F من كندال ، في حين تم الحصول على التركيب الجزئي لـ دزوكسي - كورتيكو - ستيرون (ستيجر ورايبشتاين) الذي سوف يستحلب في السنة اللاحقة من الغدة فوق الكلية (رايبشتاين وفون إيوي Von Euw) . من هذه الغدة ، نستحلب هكذا عدة عشرات من الستيرويد ، الناشطة أو غير الناشطة القريبة من الكورتيزون ، ومن الاندروجين [مولدات المذكورة] ، ومن الهرموجسترون وحتى من الاستروجين وبأن واحد تكامل التركيبات : كورتيكو - ستيرون (رايبشتاين ، 1945) ؛ كورتيزون أو 11 هيدروكسي 17 ديهيدروكوستيرون (ساريت ، 1946 ؛ كندال ، 1947 ؛ انطلاقاً من حامض ديزوكسي كوليك ؛ ر . ب . وود وود ، 1953) . ولكن يبقى كسر لا شكل له ، الأكثر نشاطاً للمحافظة على الحياة . إن الجهود المتحدة من قبل عدة مجموعات من الباحثين (سمبسون ، وتشتين ، نيهير ، فون إيوي ، شندلر ، ورايبشتاين) أتاحت ، في سنة 1952 استخلاص الالدوستيرون المتبلر ، ثم وضع صيغته . في سنة 1955 قام وتشتين بتركيب هذا الهورمون الانشط بخمسين مرة من ديزوكسي - كورتيكو - ستيرون .

في هذه الاثناء في سنة 1949 كان رئيس السلسلة في هذه الهورمونات وهو الكورتيزون قد دخل دخلاً بامراً في الاستطباب (ف . س . هنش وأ . ك . كندال) . وتم تركيبه صناعياً انطلاقاً من الستيرون . إن النهضة السريعة في الاستطباب بهورمونات القشرة فوق الكليوية الذي تلا سوف يعرض فيما بعد ، مع التقدم المهم في مجال التركيبات الحديثة (الفقرة V من الفصل القادم) .

ج - وأخيراً نتجت عن القشرة (كورتكس) ، فئة الاندروجين فوق الكليوي (اندرينو ستيرون ، ديهيدروأبياندروستيرون) التي يتزايد معدلها بتأثير A. C. T. H .

وتخريب الغدة فوق الكلية (موض اديسون) يقلص افراز كل هذه الهورمونات ومعدلها البولي . ومن السهل اليوم معالجة ذلك .

إن الغدة فوق الكلية قد تفرز الكثير من الالدوستيرون دون أن يكون هناك انتفاخ في القشرة (كورتكس) (كون ، 1954) أما أثناء الإصابة بالادمة أو بالقلب أو بالكلى (لوتشر ، 1954) أو بالاصابات الكبدية (وولف Wolff ، 1955) . إن الكثير من الغلوكو- كورتيكويد ، على أساس ورم حقيقي أو بفعل هيريسلاسي ، يسبب مرض كوشن Cushing (1932) . إن الزيادة في الاندروجين الورمي أو غير الورمي ترجل المرأة البالغة ؛ وعند الشباب تؤدي زيادة الاندروجين إلى البلوغ المبكر الكاذب ، وإذا بدأ باكراً في الرحم ، فإنه يذكر إلى حد ما ويعمق الاعضاء التناسلية الخارجة عند الفتاة . وفي عارض دبريه - فيبيجي Debré- Fibiger ، الذي يقرن علامات تزايد الاندروجين بنقص الوظائف فوق الكلية ، أمكن حديثاً إثبات أن الاضطراب الأولي ناتج عن قصور الغدة فوق الكلية عن تركيب الغلوكو كورتيكويد ؛ إن الزيادة في A. C. T. H الناتجة عن النخامية الناشطة ، تحفز عمل الغدة فوق الكلية التي تفرز في الدورة الدموية افرازات اندروجين ، فإذا لجمت النخامية ، وضع الكورتيزون حداً لهذه الزيادة في الاندروجين (ويلكنس Wilkins ، 1950-1955) .

أن المعايير من الكورتيكويد فوق الكلوية ، في البول ، وتكسيورها الكروماتوغرافي (الاستشراحي) ودراسة تفاعلات الكورتكس مع A. C. T. H قدمت للتشخيص ، وأيضاً لمعالجة مرض اديسون ، ولاعراض فرط النشاط فوق الكلوي عناصر ذات دقة لا تضارع .

هورمونات النخامية الخلفية أو الجيب الخلفي - من هذا الامتداد للجهاز العصبي استخرج أوليفر وشاري - شافر ، سنة 1895 ، مستحباً يرفع الضغط الشرياني . ورغم أنه من بنية غير صمائية ، فإن الجيب الخلفي ينتج اذن هورمونات بفضلها ينخفض افراز للماء ، خاصة في الزرب التفه (ماغانس وشافر 1901) . إلى هذا المفعول الذي تقوم به النخامية الخلفية ، أضاف دال سنة 1909 ، مفعولاً محفزاً يؤثر في تقلص العضل المهبلي وغيره من العضلات الملساء (افراز الحليب) ، وتعزى هذه الخصائص الثلاث إلى ثلاثة هورمونات متميزة : فازوبرسين ، هورمون مضاد للادرار (انتي ديوريتيك) (A. D. H) ، أوسيتوسين . بعد التنقيات المتتالية ، رد وضع الصيغ (دوفينييه ، فروماجوت) ، وأخيراً التركيب الرائع جداً (أول تركيب لهورمونات بروينية) الذي حققه دوفينييه (1953) إلى اثنين الهورمونات النخامية الخلفية وهما : A. D. H (أوفازوبرسين) ، والأوسيتوسين .

إن ال A. D. H الذي يمنع تسرب الماء من عبر الكلية ، سوف ينتظم افرازه بفعل متلفيات ممتصة واقعة في الهيبوتالاموس [وسط الدماغ] ، وحساسة تجاه تغيرات الضغط الامتصاصي (ثري ، 1947) . وهو يعدل التبول المتزايد في حالة الزرب التفه المتأني من عطب في النخامية الخلفية . إن الأوسيتوسين ، رغم شيوع استعماله من قبل المولدين ، منازع بشأنه في حالة الولادة الطبيعية . بالمقابل ، من المفترض أنه يفرز بعد مص الحلمة ، فيساعد على اخراج الحليب .

إن الفائدة العفائية الرئيسية من وراء النخامية الخلفية (بوست هيبوفيز) ، كونها تابعة للجهاز العصبي (هيبوتالاموس) ، تكمن في اعتبارها اليوم مجرد خزان للمواد المصنعة في الهيبوتالاموس (تحت المهاد) .

الهورمونات الهيوتالامية - إنسا ندين لـ شارير (Scharrer 1928) وبارغمانك (1949) بالبياز النسيجي لافراز الغدة المخيخية (ديانسفاليك) (شارير) . الا يصنع الهيوتالاموس إلا الهورمونات برسم النخامية الوراثية ؟

والواقع ، من المعلوم منذ زمن بعيد أن الاصابات الاورامية الصدمية أو الدماغية التي تعترى الهيوتالاموس ، قد تتسبب بفقر في الغدة النخامية الامامية من شأنه أن يؤثر بشكل واضح في المناسل . فتجاه الفرضية غير الثابتة القائلة بوجود سيطرة للهيوتالاموس على الهيبوفيز ، عن الطريق العصبية ، حلت بصورة تدريجية فكرة رقابة مزاجية تتخذ طريق جهاز وعائي هو مدخل خاص يحمل الدم من الهيوتالاموس نحو النخامية الامامية .

في سنة 1955 بين غيلمين أن زراعة من التجويف الامامي لا تفرز A. C. T. H ، الا بوجود مستحلب هيوتالامي أو نخامي خلقي ، وظن هذا المؤلف أنه توصل إلى عزل مادة خصوصية تحفز افراز A. C. T. H ، وتختلف عن الشازويرسين الذي يعتبر عند آخرين (سايرس) الحافز الحقيقي .

لقد ثبت اليوم ، على ما يبدو ، إن افراز A. C. T. H من قبل النخامية يحفزه هورمون عصبي هيوتالاميك (تحت مهادي) للأسف ، إن هذه الاكتشافات الرائعة هي حتى الآن ، بدون مثال بالنسبة إلى الهورمونات ذات الانتحاء الدرقي أو المنسلي . إن افراز الهرولاكتين من قبل نخامية أمامية مزروعة بعيداً عن الهيوتالاموس (أفريت 1954-1958) يدل على أن المواد المبحوث عنها يمكن أن تكون ذات دور كاسح ، أو ذات دور حافز ، بحسب المحفز (سيمولين) النخامي المعتبر .

إنه في مجال الهورمونات العصبية ، المفتوح حديثاً ، نتوقع حقاً في السنوات المقبلة حدوث انجازات هي الاروع في المجال التجريبي وربما الاستطابي .

٧ - أمراض الدم

إن التقدم في معرفة امراض الدم قد أربك هذا الفرع من العلم . إن دراسة الاشعاعات ، ونقل الدم ، وتكسر البلاسما ، والتحليل المتماذي في رفاته ، فيما يتعلق بأواليات تخثير الدم ، ونهضة المناعة الهيماتولوجية [المتعلقة بامراض الدم وأعضاء الدم وأعضاء تكوينه] ، ومعرفة تعددية الهيموغلوبين ، والمكتسبات التي تقدمها البيوكيمياء ، والكيمياء الخلوية والفيزياء النظرية ، والميكروسكوب الالكتروني ، وكثيراً من الاكتشافات هي التي بدلت معرفتنا حول أمراض الدم .

فئات الدم . المضادات - لن نمسح هنا إلى اكتشاف الانتحام أو التلازن المماثل Isoagglutination ولا إلى فئات الدم (لاندستينر Landsteiner ، 1900 ؛ الخ) ولا إلى اكتشاف العامل (Rh) ، وكلها قد سبق ذكرها (راجع بهذا الشأن دراسة ر . كهل الفقرة II ، الفصل II من

(القسم الرابع) والتي سوف نعرض بعض نتائجها فيما بعد (الفقرة V من الفصل القادم). نذكر على كل حال أنه في سنة 1945، استغل اكتشاف العامل (Rh) من قبل وينر Wiener وبيترس اللذين يئنا أن ردت فعل ثقل الدم ربما تعود إلى هذا المولد المضاد (انتجين)، ومن قبل ليفين، كاتزن وبورنهام اللذين ربطوا مرض انحلال الدم عند الوليد الجديد بعدم توافق دم الوليد مع دم أمه.

في سنة 1945، اكتشف كومبس Coombs، موران Mourant وراس Race المضادات غير الكاملة (غير الملائمة) باستعمال مصبل الأرنب ذي غلوبولين مضاد للإنسان (اختبار كومبس). إنها نقطة انطلاق كل المناعة - الدموية البشرية التي لحظت بداياتها باكتشاف (شوفارد، هايم، ومينكوسكي، 1907) أهمية الهشاشة الامتصاصية في الكريات الحمر في حالة الصفراء (الريقان) الدموية الولادية. نذكر أيضاً أن مارشيافا Marchiafava عزل سنة 1928 حالة انحلال الهيموغلوبين الليلي في أوجه أو ما يسمى مرض مارشيافا - ميشيلي، وسببه تغيير مكتسب في غشاء الكريات الحمر بعد أن أصبحت حساسة تجاه عامل انحلالي تدميري، ربما كان البروبردين.

في سنة 1946 أوضح بورمان، دود Dodd ولوتيت Loutit، بفضل اختبار كومبس، الأولية الفيزيائية المرضية في حالة فقر الدم الانحلالي بفعل توليد المضادات ذاتياً. إنها نقطة انطلاق كل علم الأمراض بفعل الاعتداء الذاتي، والذي يتجاوز الآن، علم الدم؛ لقد روجعت أوليته من قبل فيدال وإبرامي سنة 1907، وقد وصف أول مرض بانحلال الدم ذاتياً من قبل دونات ولاند ستينر سنة 1904.

اضطرابات التخثر - دون الرجوع إلى تاريخ توضيح أولية تخثر الدم (راجع بهذا الموضوع دراسة ر. كهل الفقرة II، الفصل II من القسم الرابع) نذكر فقط الاكتشافات الطبية المهمة المتعلقة به.

في مجال اضطرابات التخثر، وصف غلانزمان سنة 1918 الترمبمستيني (تجلط الدم) المعروف اليوم باسم مرض غلانزمان، وهو مرض وراثي، مرتبط باضطراب في الصفائح متميز بعدم تراجع الجلطة.

في سنة 1931 وصف ويلبراند مرضاً نزيغياً تكوينياً، وراثياً، متميزاً بطول مدة الرعف دون انسداد شرياني (ترومبوسيني) وأعطاه اسم الاستعداد الكاذب للنزف.

إن هذا الوصف الأساسي قد استكمل بأعمال جورجنس (1933-1957)، وأعمال الكسندر وغولدستين (1953) ونيلسون (1958) من أجل معرفة عارض ويلبراند Willebrand، باعتباره امتداداً لوقت الرعف المقرون بنقص في العامل المضاد للنزف A.

سنة 1937 بين باتك وستيتسون بان النزف المعروف منذ أكثر من قرن يعزى إلى عدم وجود عامل سمياء بالغلوبولين المضاد للنزف (انتي - هيموفيليك).

وفي سنة 1947 وصف اورن Owren شبه النزف أو النقص الولادي في العامل V (بروأكسيليرين). واكتشاف بيغس وأججيلر Aggeler سنة 1952 للعامل الثاني المضاد للنزف،

أتاح تمييز نمطين من النزف A و B . وكذلك اكتشاف العامل III (روتال 1953) كشف عن استعداد نرزي قريب من الهيموفيلي (P.T.A.) أو نقص في البلاسما التجلطية السابقة (ثرومبولاستين) .

الهيموغلوبينات غير الطبيعية - جذير بالذكر أيضاً الاكتشاف المهم « لمرض جزئي » في الهيموغلوبين ، يحل فيه هيموغلوبين غير طبيعي محل هيموغلوبين طبيعي .

في سنة 1949 بين بولنغ ، ايناتو ، سنجر وول أن هيموغلوبين المرضى المصابين بالتحلل الدم (انيميا) ذي الخلايا المموهة الشكل أو (دريپانوسيتير) يختلف عن الهيموغلوبين الطبيعي بخصائصه الكهركيميائية التي سببها تغيرات بسيطة في تركيبة الحوامض الامينية المكونة له ، وأن هذا الشذوذ يفسر اعراض المرض .

منذ هذا الاكتشاف الاساسي ، اتاحت التقنيات التحليلية اثبات العديد من الهيموغلوبينات غير الطبيعية . ولدى العيادي اليوم الوسيلة لكي يشخص بدقة الامراض الدموية التي كان يصنفها في السابق ضمن الاعراض الواسعة لانحلال الدم الداخلة في علم الاسباب (إتيولوجي) غير المعروفة، حيث كان المرض يمزى إلى الخلايا الحمر لا إلى الهيموغلوبين . وأصبح عالم الوراثة يرى تجدد تخلف وراثي كان يعتبر حتى ذلك الحين تراجعياً تماماً : إن الفرد المريض يحمل الهيموغلوبين غير الطبيعي الوحيد ؛ أما الفرد المختلف الاقتران ، السليم ظاهرياً ، ولكنه يحمل التخلف ، فإنه يمتلك بالتساوي تقريباً النوعين من الهيموغلوبين . وأخيراً يلاحظ الباحث ، في هذه الحالات الخصوصية كيف أن الاصابة البيوكيميائية هي في أصل الاعراض العيادية . وحتى عالم الانسال ، يستطيع ، عن طريق الهيموغلوبين غير الطبيعي ، إن يعيد تركيب الهجرة التاريخية للسكان .

VI - علم أمراض القلب

من خمسين سنة ، قلماً توفر ، في علم الامراض القلبية ، غير الفحص السريري وغير قياس الضغط الشرياني . إن التقنيات الجديدة : التصوير الشعاعي ، وتصوير القلب والأوعية ، والتصوير الكهربائي القلبي ، والتميل القلبي ، قد أصبحت قسماً متمماً للفحص القلبي الكامل ، كما اتاحت التقدم المحسوس في معرفة أمراض القلب .

وإذا كانت امراض الجهاز القلبي الدوراني تمثل ، إلى حد بعيد ، السبب الرئيسي للموت في النصف الأول من الحياة ، فإننا نعرف اليوم أن المسؤول الكبير عن ذلك هو تصلب الشرايين التاجية . إن تصلب الشرايين التاجية أو الكوروناريت يقلص تقديم الاوكسجين لعضلة القلب مما يسبب اضطرابات في أبيض العضلة القلبية مما يسبب حتى التعصيب في العضل القلبي الذي يترجم بالتحلل لا رجعة فيه في هذه العضلة ، أو بالآلام عيفة ، هي آلام الذبحة القلبية أو بالموت المفاجيء .

هذه الاصابة للتاجيات معروفة تشريحياً منذ زمن بعيد ، خاصة بعد اطروحة رينه ماري René Marie حول انسداد نسج القلب (1896) ، ولكن نهضة التصوير الكهربائي القلبي ، التي كشفت الاضطرابات في توليد الكهرباء القلبية هي التي اتاحت مقارنة الاضطرابات الكهربائية بالدلائل

العيادية ، بفضل أعمال باردي (1920) ، وباركنسون (1927) ، ويدفورد (1942) وويلسون (1924-1948) حول الانسداد التاجي ، وانداد نسج القلب وتموضعاته المختلفة .

إنه لواحده من المكاسب العظيمة في طب القرن العشرين مفهوم عدم الكفاية التاجية ، المدعوم بمعايير قوية عيادية ، كهربائية وتشريحية ، ولكن التقدم ليس أقل في مجال أعراض القلب الولادية .

إن اكتشافات الرواد من القرن الثامن عشر والقرن التاسع عشر : سيناك ، ف . فرانك ، فالوت ، الذين وصفوا الأعراض والأمراض ، روكيتانسكي ، آ . كيث ، سبتزر ، الذين بحثوا عن تفسير للتشوهات بتطبيق اكتشافات علم الاجنة والتشريح المقارن أعدت لعمل القرن العشرين : تركيب م . أبوت Abbott (1932) ، جراحة القناة الشريانية المرتبطة من قبل ر . آ . غروس (1939) ، الفكرة الأصلية عن « جراحة تعويضية » لـ هـ . توسينغ (1944) - حققها بروعة آ . بلالوك (1945) بشكل (اناستوموز) تفحم بين فرع من الاورطي وفرع من الشريان الرئوي ضد رباعية فالوت - ثم تصحيح ضيق الممر الأورطي (الأبهري) (ر . غروس وهو فنانجل ، ك . كرافورد مع آ . مانهيم ، ت . ويكلوندوج . نيلين (1939) . ولكن لم يكن أي شيء ليستكمل لولا علم تصوير الاوعية القلبية (آنجيو - كارديو - غرافي) الذي قام به لويدي كارفالو ، ايغاس مونييز وآ . ليما (1931) ، وبدون العمل الرائع الفيزيولوجي وهو التمييز القلبي الذي صممه وطبقه على أمراض القلب الولادية أندره كورناند وفريقه (1941) ، متبوعاً بدراسات ر . ج . بنغ وفريقه .

في السنوات التي تلت الحرب العالمية الثانية ، أتاحت سلسلة من الاكتشافات لمعرفتنا ، وغالباً لمعالجة جراحية فعالة ، مجموعة كانت حتى ذلك الحين غامضة وغير قابلة للشفاء اطلاقاً من أمراض القلب الولادية (أنظر الفقرة VIII ، الفصل III من هذا القسم) .

ولكن عدا عن التشوهات التي تصيب القلب منذ ما قبل الولادة ، وعدا عن تصلب الشريان التاجي الذي يتمزق في النصف الثاني من العمر ، هناك خطر ثالث يهدده ؛ الروماتيزم المفصلي الحاد ، الذي يقتل بسرعة ، خالقاً عدداً كبيراً من المعاقين النهائيين ، في عز الشباب وعز النشاط ، ويمثل عملياً السبب الرئيسي لأمراض القلب المكتسبة في الشباب . هذا المرض سببه جرثومة سبكية في الدم المنحل من فئة A (كوبرن 1931 ؛ كوليس 1934 ؛ لانسفيلد 1928 : التعرف على الجراثيم السبكية (سترينوكوك) بالتجميع والتنميط ؛ تود Todd ، 1938 : التثبت من وجود مضادات جرثومية سبكية في الدم) تهاجم الأغشية الثلاثية المكونة للقلب ، وخاصة بطانة القلب (الاندوكارد) ، وتتثبت غالباً بالصمام فتعطل عمله نهائياً .

إن الدراسة العيادية لأمراض القلب الصمامية الروماتيزمية كانت متقدمة جداً في مطلع القرن . منذ خمس عشرة سنة ، كان أسلوب عمل المرض قد توضح نهائياً بواسطة التمييز الذي قادنا إلى الحقبة النشطة في تاريخ الدم .

إن الحافز الناتج عن الضيق التاجي يمدد الأذين الأيسر ، ويؤدي إلى ارتفاع الضغط في الأوردة ثم الشعريات الرئوية ، ويربك كل الدورة الصغرى ، وينتهي برفع الضغط في الشويان

الرئوي ، ويرهق البطن الأيمن . وعواقبه تسجل تنوعاتها وأخطارها على مخطط نشاط الدورة الدموية والكهربائية القلبية . إن المعلومات التي تقدمها هذه الاستكشافات إضافة إلى الدلائل العيادية ، هي التي تقرر ضرورة وإمكانية التدخل الجراحي .

VII - ارتفاع الضغط وأمراض الأوعية

إن مسألة علم تولد الأمراض (باثوجيني) وعلم الأمراض الفيزيولوجية الناتجة عن ارتفاع الضغط الشرياني الدائم قد أثارت العديد من الأعمال . إن تصور ارتفاع ضغط من منشأ كليوي ، كان موضوع ظنون منذ زمن بعيد ، بسبب تكاثر ارتفاع الضغط الدموي في التهابات الكلية ، ولكنه كان يصطدم بصعوبة هي : استحالة استحداثه تجريبياً بتخريب الكلية . ولكن هـ . غولديبلات Goldblatt سنة 1934 ، أثبت أنه بالإمكان افتعال ضغط مرتفع دائم عند الحيوان ، وذلك بخلق ضيق كليوي بواسطة ملاقط تضيق فتحة الشرايين الكلوية .

وقد امكن تبين أن مثل هذا الضغط المرتفع كان مرتبطاً بإفراز مادة خاصة من الكلية المضيق عليها سماها البعض كلين (rénine) (باج ، هوساي ، تيجرستد (Tigerstedt) ، ولكن طبيعتها بقيت مجهولة . إن مقارنة التجارب المذكورة أعلاه ، والوقائع العيادية بدت مثمرة بسرعة : فقد أمكن الحصول ، بواسطة تقنية غولديبلات على ارتفاعات ضغط مع قصور كليوي خطير ، وعلى ارتفاعات ضغط معزولة ، بحسب ما إذا كان التضيق على الشرايين الكلوية شديداً أو معتدلاً . ولكن طالما لا يوجد توضيح حول أسباب ارتفاع الضغط الشرياني المعزول ، البشري ، بقيت المسألة معلقة . وقد تم التركيز في السنوات الأخيرة (باركر) على الضغوطات الشريانية بواسطة الأمراض الكلوي الوحيد الطرف (أو عن طريق عطب المسالك الإفرازية) الذي يمكن أن يشفى باستئصال الكلية المريضة .

إن عدداً من الضغوطات الشريانية ليس سببه ، بالتأكد ، الإصابة الكلوية : الضغوطات المعزولة إلى ورم غلدي قاعدي (مرض كوشنغ) ، أو إلى إصابة في القشرة فوق الكلية الأولية ، والضغوطات الناتجة عن ارتفاع الإفراز فوق الكلية (هير - الدومسترونيسم) (الأولى (غرض كون) والضغوطات المرضية لدى المرضى الذين تناولوا A.C.T.H أو الكورتيزون ، أو ديزوكسي - كورتيكو - سترون . إن الهير نفروما اللبية المولدة للضغط تسبب ، في أكثر الأحيان ، ضغوطات دائمة أكثر مما تسبب بأزمات ضغطية حادة : وتشخيصها سهلاً التصوير الشعاعي للمنطقة القطنية بعد إزالة الزرع الصفاق Pneumorétropéritoine (ريفاس ، 1950) بعد الاختبار بواسطة الريبجيتين (غريمسون ، 1949) ، وبعد تعيير الكاتيكولامينات البولية (غولدينبيرغ ، 1954) .

إن الولادة المرضية للأيتروسكليروز (تصلب الشرايين) محكومة باضطرابات هورمونية : تزايد تفعل « كوناكل » تجاه الفينول ، الكولسترول المرضي ، تزايد الدهن المرضي (غوفمان ، 1950-1952 ؛ كاتز ، 1953) .

تدل الدراسات بواسطة المسبر الكهربائي ، أن الكسور B البطيئة و B البطيئة جداً هي التي

ترتفع ، في ميزان الدهن ، على حساب كسور B السريعة α (راينود ، ديسهوكس ، وباسكت ، 1955) . إن الوجود الدائم للجزيئات ذات الثقل النوعي الضعيف ، وذات الحجم الكبير والوزن الجزيئي المرتفع ، المحتوي على كثير من الدهون وعلى قليل من البروتين ، هو الذي يتحكم بتصلب الشرايين (غوفمان) . إن مرض الكبد الفيزيولوجي قادر على أن يبدد الجزيئات الكبرى وأن يشتت الكوليسترول : من هنا الأهمية الاستطابية للدهارين .

وقد أوضحت الاعمال الكثيرة كثرة الانسداد الوريدي الكامن في الاطراف السفلى ، والمسؤولة عن الاحتقانات الرئوية (دينيك Deneck ، اولو Olow ، فريكولم ، هومانس ، 1934 ؛ لونيفر Lenègre ومائيفات Mathivat ، 1945) . اعطت الصور الوريدية ، التي وضعها ر. دوس سانتوس Dos Santos ، معلومات ثمينة ، وأوضحت مقر وامتداد الجلطة ، ودخلت في الاستعمال الشائع .

VIII - أمراض الكلية

في سنة 1903 و1911 عزل فرناند فيدال ، وهو يحلل الواحد تلو الآخر اعراض التهاب الكلية ، ويوثق عبقرى في الحكم ، أربعة عوارض لكل منها أساس فيزيولوجي مختلف : الزلال ، الألمة (الاستسقاء) ، العرض الأزوتي ، العرض الضفطي . واليرم ما تزال هذه الاعراض تحتفظ بأساس متين ، رغم أن تقدم معارفنا قد أدى إلى إدخال بعض التعديلات عليها .

وبداية القرن العشرين تدل على الانطلاقة الكبيرة في الاستكشاف الوظيفي للكلية . وقد رأيت العشرون سنة الأخيرة ظهور ووضوح النظرية الجديدة لعمل النفرون أو حشوة الكلية وأدوارها الثلاثة المختلفة : التصفية ، إعادة الامتصاص ، والاخراج أو الافراز .

وهذه النظرية التي أطلقها كارل لودفيغ سنة 1843 ، وعاد إليها ه. و. كوشنغ سنة 1927 ، لم تكن إلا فرضية بقيت كذلك إلى أن جاءت أعمال الباحثين المعاصرين تراكم البراهين . فقد توصل ستارلينغ وفيرني ، بواسطة التحضير : « قلب ، رئة ، كلية » ، وريشاردس (1924-1933) ، بواسطة التنقيط الميكروسكوبي للنفرونات ، رهبرغ ، ه. و. سميث ، غوفارتس ، آ. و. وكر ، ج. أوليفيه ، ب. بوت ، م. مكديسل ، وآخرون أيضاً ، بدراسة الاخراجات الكلوية ، توصلوا جميعهم إلى جمع ضمة من البراهين الحاسمة لصالح عملية التصفية - إعادة الامتصاص ، ولصالح عنصر ثالث متدخل في تكوين البول ، وإخراج بعض المواد من خلال الخلايا الانبوية .

من هذه الاعمال اثبتت انجازات حاسمة في فهم الوظيفة الكلوية التي وضع أمبارد Ambard سنة 1910 ، وكان الأول ، دراسة كمية عنها . إن التجربة البولية - الافرازية التي قام بها أمبارد قد ساعدت على إلهام الاعمال الحديثة التي أدت إلى التوضيح وخاصة إلى الاختبار الذي قام به فان سلايك ، أو برهان التنقية البولية (1921) . وطريقة التوضيح أو معامل التنقية البلاسمية لمختلف المواد المدخلة والتي يتأمن استبعادها بفضل عملية محصورة الوضع بهذا الشق من الانبوب البولي ، أو ذاك ، قد أحرزت تقدماً كبيراً وحسّنت معارفنا حول افراز الماء ، والغلوكون ، وحول الكهرلات .

وهناك طرق أخرى قد جهدت في توضيح طاقة الكلية على الاخراج : استبعاد الفينوسيلفون فنالين (P.S.P) (رونتري Rowntree وجيرافتي Geraghty 1910) .

في سنة 1905 انجز . الباران اختباره حول البولة المتعددة التجريبية ، مما مكن من دراسة إفراز الماء من الكليتين بعد تميل مجاري البول . وقد قرر قانون الباران Albarran ان الكلية المريضة ذات منتج أقل من الكلية السليمة ، وإن عملها يختلف بمقدار ما تكون إصابة النسيج أكثر خطورة .

في سنة 1910 اقترح فاكرز Vaquez وكوليه Collet اختبار التبول المفتعل . وبفس السنة انجز فولهارد Volhard وثلاميذه اختبار الماء ، أو اختبار السيولة المركزة ؛ وكما قرر الباران تقدر مرونة عمل الكلية من خلال التغيرات الكبيرة في الكمية وفي سيولة العينات المستبدلة . ووحدة الحجم والكثافة في العينات تعبر عن ارتباك وظيفي خطير . وهذا الاختبار الذي عُرف باسم الباران - فولهارد يستعمل يومياً .

نبدأ بعدها في استعراض الوظائف الصماء للكلية ، في سنة 1921 قرر ناش وينديكت بأن معظم الامونياك البرلي يتشكل في الانبوب البولي الصغير وإن هذه الاولية تقتزن بوظائف أخرى داخلية لمقاومة التحمض . وثبت أن الكلية هي العضو الأكثر أهمية من أجل المحافظة على ثبوتية الوسط الداخلي . وتم إكتشاف طرق قياس لكل من القطاعين ، الخلوي وخارج الخلوي في الجسم (بيترس 1931-1944 ، غاميل 1942 ؛ فان سلايك ، ر. ماش 1942 ؛ ر. كاشيرا ، 1945-1952) .

وهناك طرق أخرى للاستكشاف الوظيفي تثبت وتوضح ، مثل اختبار التفات في الثقل النوعي في ما وراء النخامية (همبرغر Hamburger ومييه Millet) . نذكر أيضاً الأهمية الضخمة التي لعبها التصوير البولي عبر الاوردة ، والذي أدخله أ. فون ليكنبرغ Lichtenberg وم. سويك Swick سنة 1929 .

إن الاعراض الكبرى لأمراض الكلية قد أصبحت معروفة بصورة أفضل . من مرض الكلية الاستسقائي ، الذي يسببه حبس الملح ، وهو توضيح قدمه فيدال ولومير سنة 1903 ، عن هذا المرض ينفصل العارض النفروتيكي (مرض الكلية النسيجي) ، وقد خصص له ابنتين سلسلة من الدراسات (1912-1917) ، مركزاً على الاضطرابات البروتينية الدهنية ، التي أصبحت عنصراً أساسياً في تشخيص هذا العارض . على أثر أعمال آديس ودويري والمجموعة أصبح التهاب الكلية الحاد الستريبتوكوكسيك ، الكثير الحصول عند الاطفال ، أكثر وضوحاً وتمييزاً لفرديته . في كل حالات القصور الكلوي ، وإلى جانب الحبس الأزوتي ، أصبح الآن ممكناً تتبع اضطرابات التوازن بين الحامض والقاعدة ، وتتبع اضطرابات التوازن الامتصاصي ، وفرط الكلس ، وزيادة ونقص الكاليمين (دارو Darrow ويانت Yannet ، بيترس ، فان سلايك Van Slyke ، ماك Mach ، غاميل ، همبرغر) ، التي بدت أهميتها كبيرة خاصة في حالات المرض الكلوي الانبوبي الحاد ، من أجل توجيه النظام الغذائي ، وأساليب الاشتقاق الكلوي الخارجي ، ثم اجتياز المريض لقطوع الخطر .

إن الانجازات قد تزامنت بتأكيد في مجال علم البولة بفضل التقنيات الاستكشافية التصويرية بالاشعة وبفضل المعلومات الحديثة في مجال الفيزيولوجيا الكلوية .

إن الاستكشاف الاشعاعي للمجري البولية السفلى قد استغنى في هذه السنوات الاخيرة بالعديد من الأساليب منها : التصوير الخلوي للانشاءات (آ. فون ليكتنبرغ 1905 ، البنيمو-سيستو-غرافيا (روزنشتاين ، 1924) ، طريقة الفلاك (فالليونا Vallebona ، روفو Roffo ، 1926) ، تصوير المجاري البولية التراجعي (سيكارد وفورستيه ، 1925) ، وأخيراً تصوير الاوعية الكلوية (ر. دوس سانتوس وكلداس ، 1929) الذي يتحقق الآن بسبر أو ميل في الشريان الفخذي (فاريناس Farinas ، 1946 ، هلمسورت Helmswort ، 1950) .

وهناك تقنيتان حديثتان : الكليشهات التوموغرافية بعد التصوير البولي وبعد التصوير الاشعاعي ، على أثر التراجع النفسي الشحمي ، وهي تستعمل عادة في مجال علم البول من أجل تشخيص الاورام في المنطقة القطنية . إن الاتجاه الجديد يقوم على استبدال الاساليب الاستكشافية للمجري البولية في الحالة الشبوتية بالتقنيات التي تسجل على الحي العملية الفيزيولوجية والمرضية للافرازات البولية : التصوير الاشعاعي السينمائي ودراسة تسجيلات الضغط .

ولكن في هذا المجال خطأ علم البول بفضل المكاسب الجديدة في علم البكتيريا وفي التشريح المرضي ، وكذلك بعد اكتشاف المضادات الحيوية ، خطوة كبيرة .

إن التولد المرضي للانواع الثلاثة من الاصابات وهي : الامراض الانسانية ذات كوكسي غرام + ، والامراض الصاعدة ذات العُصبة غرام - ، والامراض السلية البولية ، كان غير معروف تماماً ، واستكشافها الطبي غير موجود . وقد ساهمت أعمال برور في نكلترا ، وهلمهولتز في أميركا ، وماريون وهيتز- بوايه Heitz-Boyer في فرنسا ، في تحسين معرفة مجموعات الميكروبات البولية ، ومعرفة طرق انتشارها ؛ لقد أوضح هيتز- بوايه في وصف المعارض الكلوي الداخلي ، العلاقات الموجودة بين الجراثيم الامعائية والجراثيم البولية ، وركز على انتقال العُصبة الكولياسيل المولدة للمرض من الأنبوب الهضمي إلى الجهاز البولي ، في كثير من الأحيان .

وظهور المشتقات السلفاميدية ، ثم المضادات الحيوية الفطرية غير تماماً معالجة وتطور أمراض الكلية والمجري البولية .

وتعدد وانتقاء الجراثيم البولية فرضاً قواعد استطبائية ، فإذا احترمت هذه القواعد ، أصبحت المعالجة حاسمة في مجال الامراض البولية والكلوية الحادة . إلا أن القواعد التطورية تبقى هي ذاتها . وفشل الاستطباب ، ثم النكسات والانتقال إلى حالة الاستعصاء هما في أغلب الاحيان نتيجة استقصاء غير كافٍ للحالة المرضية .

IX - أمراض الكبد والبنكرياس

لقد تم تحقيق تقدم متتابع في معرفة الوظائف الكبدية منذ مطلع القرن : تشكل البروتينات

في الكبد (كز ، هوروتيز وويل ، 1918 ، روز 1937) ؛ تشكل التليّف (دويون ، 1905 ، نولف ، 1927) ؛ تشكل البروترومين (سميت ، وارنر وبرينكهوس ، 1937) ؛ انتقال الأمينات (برونستين وكريتمان ، 1937) ؛ زوال الأمينات المؤكسدة (كريس ، 1932) ؛ التخزين الجروتينيدي (مورافيتز Morawitz ، 1906 ؛ آيس ، 1936) ؛ الايض الدهني (فرايزر ، 1946) ؛ النتيجة التجريبية للاصابات الكبدية (مان Mann وماغات Magath ، 1921 ؛ بولمان ومان ، 1924 - 1936 ، وارنر ، 1938) . هذا التقدم المتتابع قد أتاح إتجاز العديد من الاختبارات التي تمكن من تقدير القصور الكبدي .

إنه بخلاف عدة سنوات تم اكتشاف الطبيعة الفيروسية للعديد من حالات اليرقان المرضي وخاصة اليرقان الالتهابي الذي عُرِفَ وبائيته منذ زمن بعيد .

في سنة 1943 أثبت ليد وميدنغ ولوز وجود فيروس في العصارة الاثني عشرية من مرضى اليرقان في اليوم الأول . وفي سنة 1943 لقح كامرون متبرعين بدم المرضى في الحالة السابقة لليرقان ، وحصل بالتالي على نقل بشري للفيروس المولد لليرقان . في سنة 1944 استحدث هافنس اليرقان عند الانسان انطلاقاً من مواد خروجية من الافراد المصابين بمرض الكبد الوبائي . وفي سنة 1945 أثبت نيفي وستوكس وجود فيروس في ماء المراحيض الملوثة بمواد خروجية من أفراد مصابين باليرقان الوبائي . وميز فندلي وماك كلوم ، وسايرو وماك ملتي مرض الكبد الوبائي الذي تتم عدلته عن طريق مائية ، ومرض الكبد المصلي على أثر دخول فيروس إلى الجسم عند عملية نقل دم أو بلاسما أو مصلى أو بمناخية استطببات بين الاقارب المجتمعين . وعُرِفَ أعمال مارشان (1895) ، ومالوري (1911) ، وبرغسترايد (1928) ، وفيز - منجر (1929) ، وشابرول (1932) ، عُرِفَ بتطور أمراض الكبد اليرقانية وتحولها إلى تليف . ولكن أحد المكتسبات الاكثر أهمية في هذه السنوات الاخيرة هو اكتشاف الدور الرئيسي الذي يلعبه النقص الغذائي وعدم التوازن في الطعام في توليد العديد من أمراض الكبد .

إن الاعمال التجريبية التي قام بها ريش Rich وهاملتون سنة 1940 وزنت - جيورجي Szent-Györgyi وغولدبلات سنة 1939 بينت أن الانظمة الغذائية الفقيرة جداً بالبروتيد وبالشحم قد تسبب بأمراض تليفية وبارتشاف دهني وبخر كبدي .

وحصل سبلبرغ Spellberg وكيتون Keeton (1940) ، وكوبو ومعاونوه (1946) على نفس النتائج بفضل أنظمة غذائية تقوم على نقص بروتيني وعلى إفراط دهني . إن التليف الغذائي البشري المسمى مدارياً قد درس بذات الوقت . إن الكواشيوركور Kwashiorkor أو السغل الغذائي الذي وصف لأول مرة من قبل أ . كوفيرنو Cofirno في أميركا الوسطى ومن قبل ك . ل . وليامس في غانا (1935) هو دليل فقر غذائي طفولي معقد حيث يسيطر فيه انعدام البروتينات مما يسبب إلى جانب الارتشاف أو النخر وإلى جانب التحجر الكبدي ، اختلال لون الجلد . وقد تم أيضاً إثبات التشمع الكحولي الأساسي الذي يسبق التليف ، محققاً ارتشافاً (كونور Connor ، 1938 ؛ كاشيرا Cachera وفريقه ، 1950-1951) .

إن الدراسة الاشعاعية للجهاز الباب قد أغنت معارفنا حول أوالية ارتفاع الضغط وحول ركود

الدم البايي ، وساهمت في توضيح وفي تصحيح الكثير من الأفكار حول الأمراض الكبدية والوعائية البابية والطحالية . في الأصل يقع العمل التجريبي الذي قام به إباتيسي وكامي (1951) حيث تبين على الكلب إمكانية تكثيف الشجرة الطحالية بإدخال مواد من أجل تبين التنوير في النسيج الطحالي . وفي ذات السنة كُثِفَ ليجه لأول مرة ، عند الإنسان ، الشجرة الطحالية البابية .

ونمو التصوير الطحالي البايي عبر الجانب ، وإثبات وجود فانريس معدوية زلعموية في الصورة الإشعاعية ومثل ذلك من الاستكشافات أتاحت معرفة أفضل بأمراض الطحال الليفية ، ردة فعل طبيعية من قبل الطحال تجاه ركود الدم الوريدي البايي وتجاه ارتفاع الضغط البايي ، المكشوفين عموماً بفعل نزيف هضمي . والأمر يتعلق غالباً عند الطفل بتشوهات بابية ولادية تضيقية ، وعند البالغ بتليفات في الكبد .

إن التقدم في مجال تقنية الجراحة قد أعاد إلى الأذهان ارتفاع الضغط البايي ، مع مواجهته من قبل بلاك مور ، لورد ، أ.و. ويل Whipple وبلانوك Blalock (1945) ، التكريس الاستطابي للتفهم بين الباب والجوف .

ويفضل الأساليب الجديدة في دراسة المسالك الصفراوية (ميليزي : تصوير مجاري الصفراء يطبق على الثقوب الصفراوية الخارجية ، 1948 ؛ كارولي : التصوير الإشعاعي القياسي للصفراء مع مزج الحقن بوسائل كثيف ، وأخذ كليشيهات وقياس الضغوطات ، 1940 ؛ ج . ماله Mallet : استكشاف قياسي ثم إشعاعي للمسالك الصفراوية في زمنين مختلفين يكمل أحدهما الآخر ويتحكم به ، 1947) أصبحت الحصاة الصفراوية والجبية معروفة بصورة أفضل ومعالجتها الجراحية أصبحت أكمل وأفضل .

إن الاكتشاف الحديث الأكثر أهمية في مجال أمراض الحلوة (بانكرياس) هو اكتشاف التليف الكيسي (د. اندرسن D. Andersen) ، المسمى أيضاً عسر التنفسي المعوي القصبي الكيدي (غلانزمان ، 1946) ، النخام أو المخاط (بوديان Bodian ، 1953) ، أو الليفة الكيسية (فاربر Farber ، 1954) .

وهناك اختباران للاستكشاف يستعملان بشكل خاص : اختبار العرق (تزايد الكلور والصوديوم في عرق الأطفال المصابين بهذا المرض) عسر التنفس (دي سانت اغنيز Di Sant' agnese ، دارلنغ Darling وفريقه ، 1953) : البحث عن الحلوين (إفراز الهانكرياس) الغاططي المفقود في هذا المرض (اختبار شواشمن Schwachman ، 1955) ؛ وبصورة احتياطية يستعمل أيضاً اختبار الانفعال البودي (ليلونغ Lelong وفريقه ، 1952) الذي يقدّر اللياز Lipase (محلل للدهن) في الهانكرياس ثم اختبار « هير - أمينو أسيديميا » (فرط الحمض الأميني) المفتعل والذي يقدّر التريسين الهانكرياسي (وست West ، 1947) .

هذا المرض يبدو مرتبطاً بوراثية مترابطة ، وهو ذو تطور مميت عادة . ولكن من المحتمل وجود أشكال أقل حدة وربما قابلة للشفاء ، وليست استثنائية (شواشمان ، 1957) ، خاصة في حالة الأشكال التنفسية .

والالتهاب الپانكرياسي الحاد أو المزمن ما يزال صعب التشخيص ولكن يمكن أن تساعد عليه دراسة تزايد الاميلاسوري « (وول جيموث Wohlgemuth ، 1910) والاميلاسيمي .

إن تشخيص أورام الپانكرياس أصبح إلى حد ما سهلاً ، في الوقت الحاضر بواسطة تصوير الپانكرياس الذي يظهر قنال ورسونغ (ليجي Léger ولاناست Lataste ، 1952) ، ثم الرسم الطبقاتي للپانكرياس المقترن بتصوير تفهيري رثوي صفافي (فالبونا Vallebona ، 1952) .

X - أمراض الغذاء

في مطلع القرن العشرين كانت المعارف قليلة حول العلاقة بين الصحة والتغذية . كان من المعروف أن هناك دوراً للبروتيد والشحوم وهيدرات الكربون وبعض الأملاح غير العضوية ، دونما زيادة . واليوم هناك أكثر من أربعين نوعاً غذائياً معروفاً بأنه ضروري للحياة ، خارج نطاق الاحتياجات الحرارية (كالوري) .

وتناولت الانقلابات الأكثر ضخامة العوامل الكبرى الطاقوية لا باعتبارها مولدات حرارية بل كموامل خصوصية . في سنة 1900 ، ورغم معرفة ثلاثة عشر حامضاً أمينياً ، فإن التركيب الصحيح للمادة البروتينية كان مجهولاً . في سنة 1935 تمت معرفة تسعة حوامض أمينية جديدة . ومنذ 1924 نشر أوسبورن الجداول الأولى حول تركيب البروتينات من الحوامض الأمينية (راجع أيضاً حول هذا الموضوع دراسة كل من ج. إيهد (الفقرة IV ، الفصل XI من القسم الثاني) و.ر. كيهل (الفقرة I ، الفصل I من القسم الرابع) .

ومنذ سنة 1900 بدأ الجدل حول الحاجة إلى البروتيد ، ولما ينته الجدل بعد . من جهة قبل الأميركي ف. و. اتوتر Atwater (1898) والألماني م. روينر (1902) وجهات غرك. فون فوات Von Voit... (1881) الداعي إلى حوالي 120 غراماً من البروتين في اليوم . كن السويدي سيفن (1900) والأميركي ر. ه. شيتندن Chittenden (1904) حافظا على توازن وتي بمعدل 25 إلى 30 غراماً باليوم . والمعدل الوسط ومقداره واحد غرام باليوم من البروتين لكل كيلو من الوزن ، هو المعدل المعتمد عموماً . وهذا التقديم يبدو كافياً للإحاطة بمجموع الاحتياجات النوعية الدنيا من الحوامض الأمينية الضرورية .

إن جسم الانسان الراشد في حالة التوازن الأزوتي ، هو في حالة تعديل دائم بين التلف وتركيب المادة البروتينية كما يبين ذلك استعمال الحوامض الأمينية الموسومة . ومن المكتسبات الرئيسية فيما يتعلق بالغلوسيد ، غير الاكتشاف الثوري لدور الانسولين ، كانت المعرفة الأفضل بالأبيض الوسيط .

إن الجسم قادر على إنتاج الغلوكوز كعامل مولد للطاقة من الدرجة الممتازة على حساب الغلوسيد واللييدو البروتيد ، باعتبار أن المستحضر الوسيط يفقد هويته الأصلية .

إن التقدم في مجال التحليل والتركيب الكيميائيين قد أتاح عزل وتوضيح التفاعلات اللايضية ، وحالة الأبيض التحليلي للمواد الدهنية وتكونها .

منذ 1901 اكتشف مغنوس ليفي أوالية التركيب على حساب سلاسل ذات كربونين . وكانت الحوامض الدهنية والكوليستيرول والغليسريد والليسيئين والسفنجوميلين الخ . قد عرفت . في سنة 1919 قدم تراون وجهة نظر أساسية حين ميز في الأيض الدهني عنصراً ثابتاً وعنصراً متغيراً . والعنصر الأول يتعلق بالدهنيات النسيجية ، ذات البنية الثابتة عملياً : فوسفوليبيد (دهن الفوسفور) ، كوليستيرول ومتفرعاته . والعنصر المتغير يتضمن تريغليسريد ودوره قبل كل شيء طاقوي . وهي تشكل احتياطات الشحم ذات الأساس من الحوامض الدهنية المشبعة أو الوحيدة عدم الاشباع ، والمتعلقة بشكل صارم بالشحنة . إن الدهون مع الحوامض الدهنية الكثيرة اللا اشباع تتدخل بشكل خاص في احتياجات النمو وفي الترميم النسيجي .

إن أبيض الماء ، والمحلات الكهربائية الرئيسية هي موضوع دراسات عدة ونكتشف من جملة الأشياء وجوداً اضطرارياً ، ضمن الحصنة من الماغينيزيوم (1915) ومن الزنك (1922) ، ومن النيكل والكوبالت (ج . برتران ، 1926) ، ومن النحاس والمنغنيز (1931) ، إلخ .

ولكن لائحة العناصر الغذائية الضرورية للجسم لم تغفل بعد ، وهناك انقلاب كبير في المعارف قدمه اكتشاف الفيتامينات (راجع الفقرة III من هذا الفصل) . ودور بعض المعادن قد توضح أيضاً .

وهكذا توضحت العلاقات بين النقص اليودي ، والحوصلة ، وبين الفلور واستباق تسوس الأسنان ، وبين الكلس والكرزاز . إن النقص الأزوتي ، وهو نقص سائد في وجبة أيام الجوع والشح ، يطبع بطابعه حالات سوء التغذية ، ويعطيها خطورتها ، جاراً وراءه أديمة الجوع ، والغيوبة الناتجة عن نقص الغليسين ، والتليف الغذائي .

إن الأمراض المعروفة حول التغذية مثل السممة وداء النقطة (النقرس) لم تبق خارج التقدم العام . في مجال الضخامة السممية يبدو دور الغدد ثانوياً ، باستثناء حالة السممة الناتجة عن ما فوق الكلتيين أو ما يسمى بمرض كوشنغ . إن هناك الكثير من حالات السممة تعود إلى فرط الغذاء المنفرد . وعلى كل هناك سممة تكوينية وراثية حيث يبدو دور الهيپوتالاموس مهماً (الأعمال التجريبية التي قام بها هلمر نغتون ورائسون) .

وإذا كان النقرس قد بقي غامضاً نوعاً ما ، فإن أعمال بندكت وفورشام وستين (1949) وهو يلحق حامض البول الموسوم مع آزوت 15 في أوردة المرضى المصابين بهذا المرض ، إن هذه الأعمال قد أتاحت مشاهدة زيادة ضخمة في قيمة « البركة المزجية » أي الكمية العامة من حامض الأوريك المتجولة بالنسبة إلى الأشخاص الطبيعيين . ولكن المسألة لم تحل بالنسبة إلى العوامل المسؤولة عن تراكم حامض الأوريك في جسد النقرسين .

إن تشخيص التهاب المثانة يجب أن يذكر بشكل منهجي أمام كل داء حصوي في الطفولة : وهذا التشخيص يمكن أن يتم بناء على دراسة كيميائية ، تلونية كيميائية أو بفعل الانحراف أمام أشعة X ، نتيجة الحصى ، بناءً على تفاعلات براند Brand (1935) ، وسوليفان ، وبواسطة التصوير التلوني التشائي الأبعاد للبول المؤكد وفقاً لتقنية دانت (1954) . بين دانت أن التهاب

المثانة يتعلق بشذوذ في التحويل الأنبوبي الكلوي ، كما هو حال القصور الغليكويزي في السكري الكلوي (غوفارتس ، لامير ، 1949) ؛ دوبريه ، روابيه ، Royer و لستراتد (1956 ، Lestrade) .

وقد اغتنى علم تصنيف الأمراض (نوزولوجي) بسلسلة من الحالات المرضية المتميزة بأعباء معظمها شبكي بطاني في الجسم . أن مرض هاند (1893) ، شولر (1915) Schuller ، كرسيتان (1919) كان معروفاً كمرض شحمي كولستيرولي ، أما مرض غوشيه (1882) ، فكان معروفاً كمرض دماغي (1924) ؛ ووصف نيمان (1914) ، وبيك (1926) مرض شحم دهني فوسفوري . وتحت اسم « بولي - كوري » ، وصف ر . دوبريه جملة من الأعراض تتميز بتراكم أبيض عادي داخل الخلايا النيلة في الأحشاء : الغليكوجينوز (1921) والستيزوز أو توالد الدهن الكبدي الكثيف (1930) ، الخ .

المظاهر الامتصاصية - إن معرفة الاضطرابات التي يولدها سوء التغذية أو عدم كفايتها ، والوسائل للشفاء من معظمها قد أدت إلى تحديد أسس الوجبة الملائمة والواقية . في العالم الواسع السيء التغذية في سنة 1963 ، حيث أكثر من 600 مليون طفل لا يشبعون تبدو هذه البحوث مهمة وملحة . هناك منظمات دولية مثل منظمات الأمم المتحدة : المنظمة العالمية للصحة وتنظيم الغذاء والزراعة ، والصندوق الدولي لمساعدة الطفولة ، والمركز الدولي للطفولة ، الخ . تلح على أهمية مسائل التغذية ، وتبحث على البحث عن أغذية جديدة وعلى تصنيع أطعمة مخضرة مسبقاً يضع اعدادها المنسق تحت تصرف سيئي التغذية وجبة ملائمة متوازنة ورخيصة .

إن القرن العشرين قد جعل من التغذية ، في مطلع الفصل المحدود من علم الفيزيولوجيا ، علماً مستقلاً ومكرساً ، مع امتداداته المرضية : الأمراض الغذائية ، والوسائل التي تحول دونها اجتماعياً ، ومن ناحية الصحة والنظافة الغذائية . لقد أصبحت الصحة الغذائية موضوع اهتمامات ثابتة لدى الحكومات والشعوب .

XI - علم التنفس والسيل

إن أمراض التنفس منذ اكتشاف الفحص الجسدي السريري من قبل لاينيك في مطلع القرن التاسع عشر كانت موضوع تصنيف دقيق وموضوعي . ولكن في النصف الأول من القرن العشرين أتاح رسم طبيعى للرئتين المملوءتين بالهواء ، المحيطتين بقلب وبضخعة هوائية ، كيثفين ، وضع تصنيف اشعاعي أكثر فاعلية . قليلة هي الأعضاء التي نمتلك اليوم حولها وسائل فحص موضوعية ودقيقة جداً مثل ما يتوفر لنا لجهة القلب والرئتين وذلك بفضل التصوير الاشعاعي وبفضل التوموغرافيا ، والفرجات التنفسية ، وتصوير الأوعية ، وتصوير القصبات ، المقرونة بالفحص بالمنظار للقصبات وللتنفس وبفضل التقنيات البكتيرية .

إن علم الأمراض الويائية الحادة التي تصيب الجهاز التنفسي معروف منذ زمن بعيد في خطوطه الكبرى ، ولكن معارفنا بهذا الشأن قد توضحت وتوسعت وتعُدلت . منذ خمس وعشرين سنة كانت أمراض التنفس الحادة الويائية تخيف بحق المرضى والأطباء : إذ كانت تهدد جدياً

للراشد البالغ ، وخوفاً مأسوياً في أغلب الاحيان عند الطفل ، ونهاية شبه طبيعية بالنسبة إلى الممن . أما اليوم فالمعالجة السريعة توقف الكثير من هذه الامراض ، وفعالية المعالجة كاملة بحيث أن المريض يشفى أحياناً قبل أن يقوم الطبيب ببحوث استبطائية دقيقة . وقليلة هي الامراض التي غير مسارها التطوري اكتشاف المضادات الحيوية . وعلى هذا فقد ندر الجدول الكلاسيكي حول مرض التجايف الرئوية الحادة الصريحة التنفسية . وعلى هذا فالالتهابات القصيبية الرئوية أقل عدداً وأقل خطورة من الماضي .

إن الامراض الرئوية القيحية أصبحت أكثر ندرة . وإذا كان الكثير من الخراجات الرئوية ، بفضل المضادات الحيوية ، قد شفى بعد مقيء فإن غيرها ، وخاصة الدماامل القيحية ، توشك في بعض الاحيان أن تصبح مزمنة ومستعصية لو أننا لم نمتلك اليوم ، اضافة إلى استئصال الجيب المريض أو الجزء المريض ، استبطائياً جذرياً بمقدار ما يتحدد موضع المرض .

إن معرفة البكتيريا ستافيلوكوك الرئوية هي حديثة العهد (شيكرنغ وبارك 1919 ؛ تروازيه ، باريتي وبروكارد ، 1936 ؛ بلومنتال ونوكوف ، 1946) .

إن الاصابة بهذه البكتيريا تقع في كل سن ، ولكنها تكثر عند الرضع . وهي تظهر بشكل خراج رئوي ، أو عند الاطفال بشكل مرض تنفسي حبيبي ثم تتعقد بشكل التهاب رئوي نزلي صديدي ، أو تظهر بشكل بيونوموتوراكس (تقيح رئوي) ذي خطر شديد . وقد حسنت المعالجة كثيراً بفضل المضادات الحيوية ، ولكنها تقتضي في أغلب الاحيان الدقة ، كما يجب أن تكون بأن واحد عامة وموضعية ، وتتطلب أحياناً معاونة الجراح . أما الخراجات الاميبية الرئوية التي تعقب أو لا تعقب الالتهاب الكيدي الأميبي ، ليست نادرة ولا استثنائية ؛ فهي تقتضي في أغلب الاحيان الجمع بين المعالجة الطبية والتدخل الجراحي .

إن الامراض التنفسية غير النمطية تكون غالباً فيروسية وتشكل فصلاً جديداً في هذا العلم الامراضي (غالاجر Gallagher ، بوين ، 1935 ؛ كلنر ، رايمان ، 1938 ؛ فنلند ، 1945) مفتوحاً بفضل تقدم التصوير الاشعاعي وعلم الامصال وعلم الفيروسات . وإلى جانب الدور الامراضي ، ثبت في علم تصنيف الجهاز التنفسي ، دور لا يقل أهمية ، هو دور الاضطرابات الميكانيكية في الدورة الغازية داخل الشعب أو داخل الجيوب : مرة عدم دخول الهواء ، الانهدام الرئوي أو همود الرئة ، ومرة دخول الهواء تحت الضغط ، وتمدد الجيوب أو الشعب ، أو حتى الانتفاخ الرئوي .

وإذا كان موضوع انهدام الرئة قد نوقش منذ القرن التاسع عشر ، وإذا كان و . باستور سنة 1914 قد وصف الانهدام الذي يعقب العمليات ، فلن يحو ش . جاكسون هي التي أوضحت المسألة فعلاً : فقد بين هذا الباحث ، بصورة عيادية وتجريبية ، تكاثر الانسداد الشعبي ، ونماذجه وأسبابه ودوره الضخم في توليد أمراض الانهدام والانسداد (1917) . ويعدده درس العديد من أطباء السل وأطباء الاطفال دلائل وأسباب اضطرابات التهوية الرئوية . إن الاعمال التشريحية التي قام بها لوسيان Lucien سنة 1936 حول التوبوغرافيا الشعبية قدمت إيضاحات حول مختلف أشكال انهدام

الرئة التي لوحظت في الصور الشعاعية ، وكذلك الانقسام الرئوي امكن ترسيمه .

وهكذا تم اثبات تكاثر التهاب القصباب الضيق والاقسامي ، وحقيقة التمددات القصية التي تعقب اضطراباً في التهوية ، وأهمية الانسدادات والضيق (الستينوز) القصبي باجسام غريبة ، وحالات امراض الغدد ، والتفاعلات الورمية ، وأهمية فهم الامراض التنفسية الحبيبية .

إن أمراض تشوهات الجهاز التنفسي هي أيضاً أكثر وضوحاً : الأكياس الرئوية الولادية ، والرنات المتكيسة المتعددة بفعل أمراض الصدر والتنفس الفجائية والانتكاسية (كيارغاراد Kjaergaard ، 1932) . وتمت معرفة مختلف التمددات القصية الولادية أو غير الولادية ، الموضوعية والعامة ، والاشترائية (أعراض كارتاجينر Kartagener) . وبهذا الشأن لعب اكتشاف تصوير القصباب المسدودة بالدهن (سيكار Sicard وفورستيه Forestier) دوراً حاسماً .

إن التهاب المزمن ، الكثير الحصول نسبياً ، والذي يبدأ في العمر المبكر غالباً ، ثم المستمر طيلة العمر ، والذي يصعب تحمله غالباً ، وتمدد الشعب لم يتحسناً إلا بصورة معتدلة وعرضية بفعل المضادات الحيوية وبفعل سحب الوضع . وعندما يصبح المرض لا يطاق ، شرط أن لا تكون الاصابات كثيرة الانتشار ، فإن أفضل علاج هو الاستئصال الجيبي أو القسبي (روينسون ، 1927 ؛ تودور Tudor ، ادواردز ، 1936) .

إن الفحص بالمنظار للشعب والذي قام به ك . جاكسون بين أن السرطان الرئوي المسمى بالبدائي هو سرطان يتشرب من جيب إلى جيب حتى يصل إلى النسيج الرئوي . وقد أتاح هذا الفحص الرصدي تصنيف اشكاله النسيجية (نسيج ماليجي ، خلايا صغيرة بدون شكل اسطوانية أو مكعبة) . إن التهابات الرئة بسبب الغبار ، المعدني أو النباتي أو الصواني اصبحت معروفة أكثر بفضل التصوير الاشعاعي والتشريحي (غاردنر ، 1938 ؛ بوليكار ، 1947) .

إن معرفة السل الرئوي قد ثورت منذ خمسين سنة . في بداية القرن العشرين كانت معارفنا في هذا المجال متينة بالتأكيد : الطريقة التشريحية المعيادية (لاينيك Laennec) ، الطبيعة الوبائية للمرض (ج . أ . فيلمين) ، اكتشاف العصبية والسلية (ر . كوخ Koch) ، اكتشاف الإصابات الرئوية الأساسية (ج . باروت Parrot) مقرونة بالتهابات في الغدد اللمفاوية التابعة . هذه الإصابات تتركز في أغلب الأحيان في الرئتين ولكنها قد تتمركز في الامعاء . من هذه الأعمال انبثق مفهوم العدوى السلية التي تحكم اجتياح السل الأساسي .

في سنة 1916 لخص رانكي Ranke دورة المرض السلي البشري بثلاث مراحل : الاصابة الاولى ، ثم فترة استراحة ذات مدة مختلفة ، مقرونة أو غير مقرونة بتموضعات غير رئوية ، ومرحلة ثالثة ينمو خلالها السل القرصي الموضوعي المشترك في الرئة . هذه الرسيمة تتضمن الكثير من التناقضات ومن الثغرات فلا يمكن أن تقبل اليوم بدون تحفظ .

إن السل الرئوي في اجتياحه الاول والسل الرئوي الثالثي ، يدرسان اليوم بدقة بالغة بفضل التقنيات الاشعاعية والتوموغرافية (التصوير الطيفي) ، والفحص القصي بالمنظار ، وبفضل

تقنيات علم البكتيريا والبيولوجيا .

نذكر بشكل خاص أهمية تحول التفاعلات التوبركولينية (ردات الفعل ضد زرع عصيات السل) من أجل تشخيص الاقترام السلبي الاساسي ، ونذكر أيضاً أهمية التقنيات الحديثة المقرونة بردة الفعل ضد لقاح السل فوق الجلد (ك . ب . بيركت ، 1907) وكذلك ردة الفعل تحت الجلدية (الفحص بالحساسية) الذي أوجده منتوكس سنة 1910 ، ثم الانعكاس (مورو ، 1908 ؛ همبرغر) ، والسحنة السلية (كفوري) أو « باتشست Patch test » (فولمر Vollmer) .

إن فحص العصبية بالمنظار (باسيلوسكوبي) ، داخل السائل المحصول عليه ، بفعل السحب الانبوبي من المعدة الصائفة (مونييه ويرتيرو) هو اليوم التقنية الأكثر استعمالاً . وقد أوضح ل . برنار ، ود . دوبريه ، وم . لولونغ انماط العدوى داخل الوسط العائلي ، وعرفوا أهمية الحقبة السابقة على الحساسية . وقد ركز ولغرين على هذا المظهر الخاص جداً في المرحلة السابقة على الإصابة السلية والتي هي الطفح العقدي .

وخلال المرحلة الرئوية السلية الاساسية من المعروف أهمية الفحص الشعاعي الغددي الرئوي ، واضطرابات التهوية بفعل الإصابة أو بفعل الضغط القصبي ، وكثرة الشق العقدي القصبي (دوفور ومونييه - كوهن) .

إن معنى السل المتشعب ، ردات فعل رئوية محيطية ، قد أصبح يدرس من زاوية انتقادية جديدة ، خاصة بعد أن ثبت تكاثر الاصابات القصية (روسل Rossle 1936 ؛ سيلر 1940 ؛ أ . جونسن ، ت . رافرتي ، وه . س . ويليس ، 1942 ؛ ومس غراهام ؛ وهوتشينسون Hutchinson ، 1947) . كل هذه الاعمال تشكل مفتاح مفهوم الاجتياح السلي البشري ، والذي يعتبر السل فيه (فيتزي) إستيقاظاً بعيداً .

هذا السل الاساسي يمكن أن يرصد في كل سن عند البالغ كما عند الطفل . ويوشك أن يكون مرعياً عند الأطفال الرضع الذين يتعرضون للعدوى بشكل مكثف . إن العصبية تنسرب عادة إلى الجسم عن طريق الهواء . ويلعب سل الحيوانات المجترة دوراً ضيقاً في علم تشخيص الامراض البشرية ، ولكن القضاء على المرض في الحيوانات يقلص تكاثر المرض البشري (جنسن Jensen) . ولا حاجة إلى القول أن هذا المشهد يتغير بشكل فريد ، والتطور يكون إلى الاحسن ، بعد تقادي التعقيدات بفضل استعمال المضادات الحيوية وبفضل الاستطباب الكيميائي ، ومن المسلّم به اليوم وجود معالجة كل إصابة في بدايتها بعناية ، حتى ولو لم توجد إشارات عيادية وصورية أشعاعية .

أما السل العصبي المتميز بانتشار الاصابات الدقيقة العقدية فقد كان موضوع دراسات مهمة .

لقد بين أشوف ومدرسته ، ليتول وبيزنسون (1922) هوشمان وأرنولد (1924) أن الحبيبات والبذرات العصبية لا تتعارض لا في أصلها ولا في توبوغرافيتها ، ولا في بنيتها ، ولكنها لا تمثل إلا

إصابة واحدة ، على مرحلتين مختلفتين ، ردة فعل خاصة جدارية حويصلية ، إلى جانب السل الحاد ، وصف ر . بورنان Burnand وسايه Saye سنة 1924 حالات السل البارد . إن الالتهابات الجلدية المولدة للدم والتي تعقد في أغلب الأحيان الهجوم السلي ، تو شك أن تنتشر وتنتهي إلى التهاب السحايا السلي : وقد درست لحسن الحظ في السنوات الأخيرة نظراً لأنها حساسة للغاية ضد الاستطبابات الجديدة المكافحة للسل ، كما أيضاً لالتهاب السحايا السلي بالذات .

وفي مرحلة السل الرئوي الثالتي درست المتسربات الكروية تحت الترقوة . المبكرة التي اكتشفها أسمان (1922) ، وريديكر (1926) ، كما درست البؤر فوق الترقوة المبكرة التي اكتشفها سيمون (1926) ، والأصابات المنقوبة ، وكثير من التركيزات الأخرى . وقد درست بصورة جيدة حتى أن تشخيصها التوبوغرافي والتجويفي والانقسامي قد أصبح واضحاً وضحاً مدهشاً بفضل الصور الطبقة في الوجه وفي الجانب .

ولكن التعابير التشريحية العيادية حول السل الرئوي قد تغيرت كثيراً في أيامنا ، فالقطع العملياتية حلت محل القطع التشريحية ، وأتاحت عمليات الاستئصال الآن تفحص ، ليس فقط ظاهرات الانتشار المرضي بل أيضاً عمليات التفاعلات التراجعية والشفائية .

إن السل الرئوي (الذي وصفه لأول مرة جاكوبوس Jacobaeus وراي Rey سنة 1921) قد أصبح مراقباً بشكل شائع . وعلى أثر المعالجات الكيميائية للتجويفات السلية ، نلاحظ الآن وجود جيوب ملتزمة ليفية مطهرة ، حبيبية وتكيسات ، وتراجمات مهمة أو التامات حقيقية (كاتي ، 1954) .

إن الملاحظات الكثيرة التي صدرت بشأن الاصابات السلية ، وذات التوضعات المتنوعة والمختلفة ، بعد الاستطباب الكيميائي ، تثبت الملاحظات التي تؤخذ من دراسة الاصابات الرئوية الثانية مثل : التام الاصابات الرئوية التي اجتاحتها السل ، فاختلفت وبرزت مع تراجع أقل بروزاً في امراض الغدد (ماهون وريتشي ، دوبريه وغرومباك ، 1955) ، تقلص ظاهرات التعرق والاحتقان ، التعديل اليفي في الاصابات السلية التي تصيب غدد المفاصل ، والنسيج الكليوي والمجرى البولي التناسلي ، تغيرات مدهشة في الاصابات الدماغية والسحائية ، في الحالات السيئة من التهاب السحايا السلي ، عندما يتأخر الموت فقط (دوبريه ، ثيفري وبريسود) .

إن مظهرية السل الرئوي الثالتي ، قد تغيرت كثيراً منذ عدة سنوات . فالفحوص المنهجية في المجموعات ، الراديوكسكوبي ، الراديوغرافي ، الراديو فوتوغرافي ، تتيح تعقب السل في مرحلته الكمونية قبل أن تظهر إشارات العيادية : الكمون ، الخطورة ، العدوى المرضية ، كل ذلك يبرز تماماً هذا الجهد الطبي الاجتماعي . وهكذا يتم التثبت من الاصابات التي ما تزال مستترة وموضعية ، ومثابة وحساسة تجاه الاستطباب .

لقد ولى زمن لم يكن فيه باليد ضد السل الرئوي إلا الراحة ، وبالنسبة إلى الاشكال الوحيدة الطرف لم يكن إلا التنفس الصدري الاصطناعي ، وهو تقنية اكتشفها فورلانييني Forlanini سنة 1888 ، وحسنها جاكوبوس الذي وضع سنة 1916 « التنظير الباطني » الغشائي ، وحقق قطع

الملتصقات الغشائية مما كبح فعالية الوهن أو الاسترخاء ، وهذا تسهيل إنسكاب الماء الغشائي والانتساب الغشائي الرئوي . أما اليوم فتتيح الأدوية الجديدة ضد السل شفاء عدد كبير من المرضى شرط السكون المطلق ولمدة طويلة . أما المرضى الأكثر خطورة في إصابتهم فإن طرق المعالجة هذه تتيح بفضل تحسين الحالة العامة والموضعية اللجوء بأقل ما يمكن من الاخطار إلى طرق المعالجة الاسترخائية والجراحية . إن الاستطباب بالمضادات الحيوية قد أغنى عن تنفيذ عملية تغيير في التجويف الصدري (تورا كولاستي) وفتح الطريق ، ضمن شروط ضمانية شبه شاملة ، أمام عمليات الاستئصال الحالية .

ولكن إذا كان الموت بالسل الرئوي قد خف كثيراً، فإن المرض بالسل ما يزال مرتفعاً ، خاصة في فرنسا على الأقل . فالكثير من الأفراد يتهربون من الفحص بصورة دورية ، والكثير من المرضى يعتبرون مرضهم تافهاً ، ويطمثون اطمئناناً مطلقاً إلى فعالية الأدوية الجديدة فيعودون إلى نشاطهم باندفاع خطر ، قبل الشفاء ، فيتكسون ، ويعودون من جديد ليصبحوا مسلولين مزمنين ينشرون المرض في محيطهم .

XII - علم الأعصاب وعلم النفس المرضي

نهضة النورولوجيا أو علم الأعصاب العيادي - إن النورولوجيا أو علم الأعصاب العيادي قد تكون بخلاف النصف الثاني من القرن التاسع عشر . وقد عرف في هذه الحقبة نهضة حاسمة بفضل الأعمال الفرنسية التي قام بها شاركوه Charcot وديجيرين Dejerine ، وبيار ماري وبانسكي . وبخلاف السنوات الخمسين الأخيرة اغتنى بشكل فريد بتطبيق أساليب الاستكشاف الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية ، وتقنيات نوروفولوجية ، ودراسات وراثية .

وشاهد النصف الأول من القرن العشرين ولادة وتطور علم الدلالة ، وتشخيص الاصابات العصبية الجراحية في الدماغ وفي الحبل الشوكي ، بفضل أعمال و . أ . داندي ، بنفيلد وغروم ، ه . و . كوشنغ ، ب . بيلي ، في الولايات المتحدة ، و . ماسيون وف . هورسلي في إنكلترا ، كلوفيس فانسان وت . دي مارتيل في فرنسا . ولا تطرح دراسة الأورام الدماغية اليوم مسائل لا حل لها ، لأن المعالجة العصبية الجراحية ، قد حولت لحسن الحظ مستقبل الكثير من المرضى .

إن علم الامراض الوعائية الدماغية أصبح هو أيضاً معروفاً بصورة أفضل .

إن البحوث التشريحية العيادية التي قام بها فوا Foix وتلاميذه (1923 - 1927) قد أثبتت بوضوح تام الوعائية الدماغية . ولكن التسجيلات الشريانية الدماغية قد فتحت فصلاً جديداً في علم الامراض عرفت بحالات التنفخ في جدار الشريان والاورام الوعائية وغيرها من الاورام الوعائية الدماغية (أ . فون هيبيل von Hippel ، وليندو Lindau وستورج Sturge وفيرر Weber وكراب Krabbe) ، وذلك بتبيين إن الكثير من النزوف السحائي يعود إلى تشوهات وعائية دماغية . إن

تشخيص عدد التشكلات الجديدة داخل الدماغ قد امتعان بشكل غريب وتوضع بفضل الرسم الشرياني الدماغي .

الصرع أو داء النقطه - إن المسألة الصعبة جداً حول طبيعة وحول أسباب داء الصرع قد تحولت وتغيرت في حالات تتكاثر ، وذلك بفضل المعلومات التي قدمتها التقنيات الحديثة وبصورة خاصة التصوير الكهربائي للدماغ (الكترو- انسفالو- غرافي) .

إن الصرع المسمى الصرع الاساسي والذي كان يعتبر لسنين مضت كنوع من العصاب يعرف اليوم بأنه اضطراب خصوصي في الوتائر الكهربائية في الدماغ . اضطراب يتيح التثبت منه ربطه بنفس المرض ، ذي الاشكال الكامنة ، الخفية ، ثم تتبع تغيراته تحت تأثير الاستطباب المقرر (جيس و لينوكس ؛ 1936 ؛ جاسبر وكشرمان ، 1949) . إن تقنية التصوير الكهربائي للدماغ (الكترو انسفالو غرافيك) تتيح اليوم تعريف الأشكال الخاصة للمرض ، كما هو حاصل بالنسبة إلى أي وجع بسيط (بنفيلد Penfield) ، والأشكال المتموضعة والمتحركة ، والأشكال التي قال بها برافي وجاكسون ، والأشكال الحسية والصدغية (جيس - بنفيلد) .

التهاب الدماغ - في مجال التهابات الدماغ المرتبطة بتفاعلية وبائية ، قدمت معرفة الاعراض العيادية ، والوبائية ، والانتشار بواسطة الحيوانات الليفة خاصة مثل الحصان والكلب والخروف ، ووجود مضيافات وسيطة كخزانات الفيروسات بين الحشرات ، وأخيراً معرفة بعض الفيروسات ، كل ذلك قدم الكثير من العناصر الجديدة للطب .

إن التهاب الدماغ النّوأم ظهر سنة 1915 في رومانيا ثم في فرنسا . ودرس في فيينا من قبل (ك . ايكونومو) فحمل اسمه . ودرسه في فرنسا كروشيه وأ . نيتز . وحتى سنة 1926 ظهرت أوبئة في مختلف اجزاء العالم ثم اختفي المرض بشكل غامض . ولم يكتشف أي فيروس خاص . والجدول العيادي الخاص جداً ، والعلاقة مع الحازوقة الوبائية ، وأمراض العضلات (ميوكلوني) ، والبقايا المسماة (باركينسونيه) ، والبقايا الوُدّية والنفسانية ، أثارت كلها اهتمام الأطباء وثقتهم . من هذا المرض الخاص جداً ، قُرب التهاب الدماغ الذي أصاب (سان لويس) - وباء 1932 - حين قام (ماكنفوس) ويأحتون آخرون سنة 1933 فعزلوا فيروساً ؛ وناقِل هذا المرض هو من بين ناقلات أخرى بعض اللباب المسمى (كولكن) . إن الالتهاب الدماغي الياباني الذي أصيب به عثة أشخاص يعزى إلى فيروس ، وقد درسه (هاياشي) سنة 1934 وكازاهارا وكاوامورا سنة 1936 ؛ نذكر أيضاً التهاب الدماغ الامتزالي والتهاب الدماغ الشوكي الخيلي الذي يصيب الإنسان والتهاب الدماغ الربيعي الروسي ، والتهاب غشاء السحايا المسمى التهاب أرمسترونغ (1934) ، الخ .

إلى هذا الفصل يضاف التهاب السحايا الذي يعقب الأمراض الوبائية المشتركة مثل الحصبة والخُميرةا وجُدري الماء ، وخاصة التهاب الدماغ الذي يعقب التلقيح الذي يعتبر بحق موضوع اهتمام ودراسات ، وموضوع العديد من الفرضيات حول توليد الأمراض .

الكساح - من بين كل الأمراض ذات الانتحاء العصبي (ليفاديتي 1929) ، المرض الذي

أثار الاهتمام هو الكساح الداخلي الحاد والوبائي أو ما يسمى شلل الاطفال أو مرض (هين - مدين) . عُرف هذا المرض بدراسات أساسية من القرن الثامن عشر والقرن التاسع عشر (هين . 1840 ؛ مدين 1890) ، وقد دُرست وبائيته في السويد (ويكمان ، 1907) وتلقيح القرد الذي جرى في فيينا سنة (1909) من قبل لاندستينر Landsteiner وبوبر Popper (1909) ومعرفة الجسم المضاد في المصل (نيتسر وليفاديتي في باريس) ، وزراعة الفيروس فوق نسيج (هـ . ف . أندرز ، مع ف . روبنس وت . ويللر في بوسطن ، 1948) ، وصنع الطعوم (سالك ، ساين Salk-Sabin في الولايات المتحدة) والطرق العلاجية (الرئة الفولاذية وأجهزة التنفس) كل ذلك يدل على المراحل الرئيسية في الاكتشافات . ونحن هنا نقف عند العناصر التاريخية الرئيسية في علم الاسباب والاعراض العيادية .

وقد دُرست طويلاً الصفات الفيزيائية والكيميائية للفيروس .

وهناك نقطة أساسية هي التفريق بحسب الانماط (د . بوديان D. Bodian ، 1949 . . . الخ) المسماة اليوم أنماط I, II, III ، ولا تسمى باسماء برون هايلد ، لانسغ وليون (1951) . يضاف إلى هذه الدراسات الأولية دراسات اكتشفت فيروسات قريبة قادرة على تحديد أمراض الشلل ورئياً قيادة على الاتحاد بفيروس الشلل (فيروس كوكس - ساكي Cocksackie ، ج . دالدورف Dalldorf ، 1948) والتي توزعت إلى عدّة أنماط تحدد عموماً خضاقاً وبائياً خاصاً (هريانجين أو الحلاء الوعائي) وأزمات صمائية عارضة ، وكشوحات ، ووجع العضلات المذكور بمرض بورنهولم Bornholm ، والتهاب السحايا « التعقيمي » الذي يشبه الالتهاب الذي يحدثه فيروس شلل الاطفال (فينلاي Finlay ، 1950 ، ملنيك Melnik ، 1951 ، الخ) .

إن علم الأوبئة المتعلّق بشلل الاطفال كان موضوع دراسات فائقة العناية في كل الكرة الأرضية . فالاكتشاف المدهش الذي حقّقه اندرز Enders وروبنس Robbins وويللر Weller قد أتاح القيام بعملين عمليات عزل الفيروسات وبالتالي تحديد هويتها ، وبذات الوقت إن القدرة على التحديد التي تتمتع بها الامصال من مختلف الأنماط مكنت من القيام بهذه الدراسات دون الرجوع إلى اعطائها للقرود إنما باستخدام الزراعات على الأنسجة الحيّة وهكذا جرى تبين انتشار الفيروس في مناطق قليلة السكن ، وكذلك استمرار الأجسام المضادة لدى قدامى المرضى لعدّة سنوات طويلة ، والأهمية الخاصة والتبكيرية (عند الرُضع والطفل الصغير) في الايلاء (من وباء) غير الظاهر خاصة في البلدان الحارة والعدوى المتعاقبة في أعضاء نفس المجموعة البشرية ونادرة الأمراض الشللية نسبة إلى ضخامة عدد حاملي الجرثومة ووجود الفيروس في الحرقوة (مرة من أصل اثنين لدى المرضى) وفي البراز (بشكل دائم) . وما تزال المناقشات مفتوحة حول أسلوب الانتشار عن طريق الأنف (الفيروس المحمول بالهواء مثل فيروس الحصية) وعن طريق المعدة (الفيروس المحمول باليد أو العدوى الغذائية) . إن الظهور المفاجيء والماساوي للأوبئة الكثيفة أو للبؤر الوبائية الواسعة الانتشار ما يزال غامضاً .

لقد تقدّمت العيادة أيضاً بفضل الملاحظات المعاصرة : مدة الحضانة ، أساليب البدء ،

إشارات دماغية ، أهمية الاوجاع الاساسية ، سمة السائل الرأسي السيسائي ، تكاثر اشكال عليا مع مختلف أنماط الاضطرابات النفسانية (ر . دويريه وس . ثيفري Thieffry) . إن أهمية الاشكال في التهاب السحايا غير الشللي (آ . نيتز A. Netter) وسماها قد توضححت .

إلى جانب هذه المجموعة المرضية تقع حالات الشلل الدماغي وخاصة الالتهابات العصبية المتعددة الفروع (بولي - راديكلو - نفريت) المنتشرة (غيلان - باري 1917) . ويدخل في هذه المجموعة أيضاً مجمل حالات التهاب الكريصات الدماغية وفيها يقترن التهاب النخاع الشوكي بالنخر (ميلو نكرورز) أحياناً برودة فعل النهائية وذلك مثلاً في حالات النشاف أو التصلب الشريحي الحاد (ماربورغ ، 1904) ، و التهاب الاعصاب البصرية (ديفيك 1894) ، ومرض شلدر - فوا (1925) و التهاب الكريصات الدماغية المقرونة بالنشاف تحت الحاد الذي قال به فان بوغارت سنة 1943 ذي المؤشرات الخاصة جداً . وإذا بقي تاريخ التهاب الدماغ والنخاع الشوكي مليئاً بالغوامض على صعد كثيرة ، يصح الاعتقاد بأن التطور المستقبلي في علم الفيروسات ، والتبادل الايضي سيوضح هذا الفصل الذي لا يزال غامضاً في علم الاعصاب .

الاستقصاءات البيوفيزيائية - إن الاستقصاءات المتعلقة بالرسم الكهربائي للدماغ قد تعقدت ، ليس فقط من كثرة فائقة في المجسات (الالكترونية) الكاشفة للسطح ، ولكن أيضاً بفضل تقنيات التحليل التفاضلي والعد الاوتوماتيكي ، والربط الآلي والمعاينة البصرية للرسيمة المكشافية (توبوسكوبي) والتحريكات العميقة الموجهة بواسطة المجس الخارجي المضخم ، إلى درجة إن البيوفيزيائيين توصلوا ، بفضل هذا التقدم إلى اقتراح تفسير كهربائي لكل العمل العصبي والعقلي . ويشبه ر . لورينت دي نو Lorente de No ، و . س . ماك كولوش Mac Culloch ، و . ر . اشبي وغراي والتر (1950) ، وهم الدعاة إلى السيرينيتية الجريشة ، يشبهون المراكز العصبية بدارات كهربائية ذات تحكم ذاتي صنعوها بشكل انسان آلي أوروبو . وشبهوا أيضاً انقطاع التيار ، والتوقف ، والإطاعة والعصيان في هذه الأوليات ذات التحكم الذاتي ، في مواجهة الإشارة التي تحكمها ، شبهوها بالاضطرابات العصبية في الدماغ البشري بل وبحالات العصاب التجريبية التحكمية .

في حين حاول البيوفيزيائيون تقديم تفسير كهربائي للسائل العصبي ، بين علماء البيوكيمياء بوضوح دور الإرياقات في الوسائط الكيميائية ، في مجال علم الامراض الدماغية والعقلية . وفتحت الوراثة ، الثقيلة الوطأة في الباثولوجيا العصبية ، بعض هذه المسائل الغامضة .

سنة 1934 افرد فولنغ Folling نمطاً من أنماط التخلف العقلي ، مرتبطاً باضطراب موروث داخل أبيض الغنيلالانين . إن التقدم في الكيمياء الهورمونية يوضح بعض حالات الذهان الصمائي مثل ذهان هورمون المبيض المفرط أو النفاسي . ويدت الدراسة البيوكيميائية للاصابات العضلية مليئة بالوعد بعد أن أثبتت قلة في معدل اللحمين (كرياتين) والمركبات الفوسفورية ، في حالات التهاب العضلات وتقلصها (شاپيرا Schapira ، 1949) . ألا يدل الاختبار بواسطة البروستيغين ، على وجود أثر صيدلاني ديناميكي خاص وحاسم ، عند مستوى الاتصال العضلي ، يعبر

ويهدىء ، في بعض لحظات ، التقلص العضلي المرتبك بشكل خطر في حالة العضال أو الوهن الشديد ؟ إن مقدار ميلغرام ونصف من البروستغنين ، المزروق عبر العضل ، يزيل تماماً الشلل الكاذب الذي يعترى العضلات (م . ب . ووكر Walker ، فياتس Viets) .

إن الطرق اليوفيزيائية والبيوكيميائية أصبحت ثمينة فيما خص الاستكشاف العصبي النورولوجي ، والاستكشاف الطبي النفسي .

نهضة الطب النفسي (سيكياتري) - إن التطور العلمي للطب النفسي لا يفصل ، على الأقل في فرنسا ، عن عمل ت . ريبوت Ribot الذي طبع بالعقلية التجريبية مدرسة كاملة من مدارس علماء النفس والأطباء منهم أ . بينيه Binet و ب . جانيت Janet (1859-1946) ، ج . دوماس Dumas وش . بلوندل Blondel .

إن الاكتساب الرئيسي للطب النفسي قد قام على نقل مسألة اللاوعي ، إلى الصعيد السيكلولوجي ثم معالجته بالطرق التجريبية ، وذلك ، وإلى حد بعيد بفضل أعمال ج . م . شاركوه Charcot (1825-1893) ومدرسة سالبيتريير Salpêtrière حول الهستيريا ، وهي أعمال أتاحت تطوير التنويم المغناطيسي ، والتعرف على التحليل النفسي .

وانطلاقاً من هذه الأعمال اكتشف ميغمونند فرويد (1856-1939) نشاطية اللاوعي وإنشاء منهج المعالجة بواسطة التحليل النفسي . وبين أهمية اللاوعي في الحياة النفسانية عموماً ، ثم العلامات الهستيرية ، وبصورة تدريجية في حالات العصاب والذهان . ويرى إن قوى اللاوعي تقوم بأن واحد على القوة الشهوانية الجنسية وعلى كل الغرائز التي تنظم في تعقيدات متميزة .

وقد لعب فرويد Freud ومدرسته ، بعد اكتشاف أهمية اللاوعي في تكوين العصاب ، دوراً أساسياً في فهم الكائن البشري ونفسيته . إن بعض نظريات فرويد قد أعيد النظر بها من قبل تلامذته : ومنهم أ . أدلر الذي ركز على مشاعر الضعة والتعويض عنها ؛ ومنهم ك . ج . يونغ Jung الذي أبرز قيمة اللاوعي الجماعي وأهمية العوامل الثقافية في المسائل النفسية .

وباستكشاف دور اللاوعي في الحياة النفسانية أصبح التحليل النفسي بصورة تدريجية شجرة معرفة تطلق فروعها في كل النشاطات الفكرية ؛ وهناك طرق أخرى غير التحليل النفسي تستعمل في مجال علم النفس والأمراض : مثل الطرق الظاهراتية (ك . جاسبيرس Jaspers) ؛ أعمال المدرسة الارتكاسية (علم الانعكاسات ، ي . ب . بافلوف Pavlov) مع التركيز على العناصر السيكلولوجية في العصاب ، إنما انطلاقاً من أليات تداعياتية خالصة .

وبخلال السنوات الأخيرة اتجهت البحوث نحو العوامل الاجتماعية في العصاب كتعبير عن صراع بين ميول الفرد والاكراهات التي تفرضها المجموعة (مالينوفسكي Malinowski ؛ م . ميد) .

الطب النفسي عند الطفل - هذا المجال العلمي الذي بدأ حقاً في مطلع القرن العشرين ، يلامس طب الأطفال ، وعلم النفس وعلم الاعصاب كما يقارب علم الاجتماع وعلم التربية .

إن الطبيب النفسي للأطفال قد يضطر ليس فقط إلى معالجة مرض عقلي ، بل أكثر من ذلك

يتوجب عليه أن يتابع التطور المحرك ، العقلي والعاطفي عند الطفل . وعليه أن يساعد بنصائحه الأهل والمربين . ولهذه الغاية يتوجب عليه دائماً أن ينظر إلى الولد في علاقاته الانسانية .

لقد وضع أ . بينيه Binet وت . سيمون Simon سنة 1905 سلسلة من الاسئلة يجب حلها . وكانت أولى « الاختبارات » التي سوف توضح مستوى الذكاء عند الطفل .

تستكشف هذه الاختبارات قوة الحكم ، والذاكرة والانتباه في مختلف الاعمار . في بادئ الامر اقتصرت هذه الاختبارات على تعداد الاطفال الذين لا يستطيعون متابعة الوتيرة المدرسية العادية . وتفرعت عن هذه الاختبارات طرق عدة حاولت استكشاف مستوى الذكاء ومنها اختبارات تيرمان ، واختبارات وشلر - بلشر Wechsler-Bellevue ، واختبارات ترمن - ميريل Terman-Merill ، وبينيه - سيمون ، وصححها زازو Zazzo سنة 1946 ، الخ . هذه الاختبارات التي تنتج يومياً المساعدة على توضيح ذكاء الطفل وشكله ، الملموس أو المجرد ، ثم زخم قدرته على الانتباه ، هذه الاختبارات تقدم خدمات كبيرة في المسائل المدرسية مثلاً . وهناك طرق أخرى استكشافية أكثر ميلاً إلى التحليل ، تتيح تقدير الكفاءات عند الطفل وعند المراهق إضافة إلى معرفة مستواه . إنها اختبارات عديدة تستعملها مراكز التوجيه المهني .

وبعد أعمال بينيه وسيمون قام أ . جيزل Gesell في الولايات المتحدة بدراسة نمو الطفل بخلال السنوات الثلاث الاولى . وهذه الدراسات قام بها جيزل في يال (نيرهاغن) ، خلال عشرين سنة ، واضعاً الطفل أمام أشياء بسيطة مثل المكعبات والطايات ، ودرس أيضاً تحركه وإدراكاته البصرية واللمسية وامساكه الأشياء وهكذا تم وضع اختبارات تنتج بشكل خاص تقديراً أفضل للنمو الحركي والنفسي والحسي عند الطفل .

وعلى موازاة هذه الدراسات تم درس الطفل من حيث سلوكه .

في فرنسا كان هوييه أول من درس سلوك الطفل ، من حيث مظهره الاجتماعي أولاً . فعند دراسة الجنوح الطفولي ، تحول الاهتمام بسرعة كبيرة نحو الطفل بمجموعه ، في حياته العائلية والاجتماعية والعاطفية .

لقد درست الوضعية العاطفية عند الطفل بشكل خاص من قبل المدرسة التحليلية النفسانية ومن قبل تلامذة فرويد . وأجري العديد من الاعمال حول نقص عناية الأم ، والتخلي العاطفي عند الطفل في السنوات الأولى (1949- 1950) : وقام ر . سبيتس Spits في الولايات المتحدة بدراسة الاستشفائية ، ودرستها أنا فرويد وبولي Bowly في لندن . وقامت بدمام اوبري Aubry في فرنسا بدراسة نتائج التخلي العاطفي ، وأثر الوضع في المستشفى ، وأثر الأمراض عند الطفل بخلال سنواته الأولى . وبين الجميع كم للحفز العاطفي من قبل الام من قيمة فريدة لا يستعاض عنها بشيء . وكان لهذه الدراسات قيمة عملية كبيرة جداً إذ قد غيرت كثيراً من مظاهر الصحة العقلية في ماوى الاطفال والمجمعات التي تحضن الصغار جداً .

وعولجت المسائل العاطفية عند الاطفال من قبل كل مدرسة التحليل النفسي .

وفي لندن كانت آنا فرويد وم . كلين Klein رئيسي المدرستين الأكثر أهمية . وقد برزت م . كلين بمعرفة الهلوسات الاولى أو الاستيهامات عند الرضع (الخوف من التقطيع والخوف من الابتلاع) وقدمت كلين مشاركة مهمة في معرفة العاطفية في السنوات الاولى .

وقام ج . غاردنر وميزرانك ، ول . ديسبرت Despert وكل مدرسة التحليل الاميركية بتحليل سلوك الطفل العصابي والمصاب بالذهان . وقام پ . مال Male وبس . ليوفيسي ور . دياتكين Diatkine وج . فاڤرو Favreau بدراسات حول الحياة العاطفية عند الولد ، واستيهاماته . وكل هذه المقدمات أتاحت فهماً أفضل للصراع الذي يمكن أن يولد الاضطرابات السلوكية والاضطرابات الوظيفية .

إن الطب الجسدي النفسي كان دائماً أحد الاهتمامات الأساسية في طب الاطفال . وطبيب الاطفال أكثر من أي طبيب آخر عليه أن يتابع تطور الطفل أكثر من أي شخص آخر . فهو يعرف حالات عدم الانسجام في نموه ، والتي هي في أكثر الاحيان مصدر مؤشرات وأعراض . وهو أكثر من أي طبيب آخر عليه أن يتبع الطفل في علاقاته العاطفية والعائلية والمدرسية .

إن اضطرابات الشهية مثل فقد شهية الطعام ، والاستفراغ ، والشراسة ، والزحار ، والاضطرابات في النوم ، ولس البول ، كلها مؤشرات يتوجب على طبيب الاطفال أن يعطي نصائح يومية للامهات بشأنها ، إذ لها في نظره أثر واضح في الصراع العاطفي . وطبيب الاطفال هو الذي يعرف أيضاً كيف يقف الموقف المناسب في حال اجراء عملية جراحية تتناول عائقاً ولادياً أو مرضاً مكتسباً مثل شلل الاطفال ، بحيث يتم تفادي الصدمة العاطفية . درس ر . دوبريه مع پ . موتزيكوناتشي Mozziconacci ، وج . ج . الواتو وأ . دوميك اضطرابات الشهية (1950) ثم اضطرابات النوم سنة (1959) .

الحياة المدرسية - إن الطبيب النفسي للطفل في القرن العشرين يهتم كثيراً بمشاكل الطفل في الحياة المدرسية . لقد أتاحت الاضطرابات المتعلقة بالسيطرة (الارتباك الثقيل والخفيف) المقرونة إلى حد ما باضطرابات حركية ، واضطرابات حول تصور الفضاء ، أتاحت التثبت من بعض الصعوبات المدرسية مثل عسر القراءة والفهم ، وصعوبة تعلم الاملاء . هناك مراكز إعادة تأهيل واستلحاق مدرسية ، قد فتحت لهذه الغاية في فرنسا ، وهي ذات ارتباط بالتعليم الابتدائي والثانوي (مركز كلود برنار ، 1948 : مركز التعليم التمهيدي : ك . لوني Launay 1950) ، وقد حاولوا أن يتلافوا المشاكل السيكولوجية والعاطفية المكتشفة في المرحلة الدراسية .

إن الاهتمام الضخم الموجّه نحو الطفل بخلال القرن العشرين قد انعكس في عدد مراكز التوجيه التي تتيح مساعدة الطفل في قضاياها العائلية والاجتماعية . وأكثر من ذلك أيضاً ان التربية السيكولوجية للجمهور الواسع هي التي كانت إحدى غايات المدارس النفسانية الطيبة التي تهتم بالطفولة . لقد ساهمت حلقات الاهل في بعض الاجتماعات الاستشارية في المستشفيات ، ومدرسة الاهل ، والعديد من المحاضرات والافلام ، كل ذلك ساعد في جعل المربين يعون المسائل السيكولوجية عند الطفل .

XIII - الأمراض الوبائية

بعد الإشارة إلى التقدم في معرفة الأمراض الفيروسية ذات الانتحاء العصبي نذكر الانجازات التي تهتم ببعض الأمراض الوبائية . فمنذ أواخر القرن التاسع عشر كان علم البكتيريا ، الذي ولد من اكتشافات باستور ، قد نشأ وترعرع . وتكفي الإشارة إلى التحسينات المكتسبة حديثاً في هذا المجال . ان التقدم الضخم في مجال علم الفيروسات يعطي هذا العلم مكانة مستقبلية بين العلوم الطبية نظراً لأن اكتشافات الأمراض الفيروسية وتحديدها قد بدأت مسيرتها . سنة 1914 بين شوتمولر Schottmuller ان حالة التعفن الخمجي ليست مرتبطة بانتشار ميكروبي في الدم ، بل تنتج عن هجرة ، دائمة أو منقطعة ، تقوم بها ميكروبات تنجذ دائماً ، وتأتي من بؤرة تعفنية . هذه البؤرة الأولى ، غالباً ما تكون متمركزة داخل وريد ، ويمكن أن تتمركز داخل مصراع قلبي أو فوق غشاء شرياني أو عقدة لمفاوية .

وأتاح أعمال ت . ر . براون (1915) تصنيفاً للمكورات العقدية ، مرتكزة على تغيرات في أوساط الدم ؛ وتوصلت أعمال ر . ك . لنسيفيلد Lancefield (1928) وأعمال ف . غريفيث (1926-1935) بعد الدراسة المولدة المضادة للجراثيم ، إلى تعريف وتحديد أنماط المكورات العقدية المختلفة التي تتسبب بالتحلل الدم .

ومن بين المكورات العقدية التي تحل الدم هناك المجموعة A وهي الأكثر انتشاراً في مجال الأمراض ، وقد تم اكتشاف أربعين نمطاً نهائياً ، صنف وترتب . ومن بين المكونات العديدة المنتشرة ، بالنسبة إلى الجرثومة ، وصف أ . و . نود ، سنة 1939 (الستريبتوليزين O) ؛ ودرس الانعكاسات المناعية في الجسم الموبوء وعزل المضادات المناوئة للبكتيريا المنجولة ومنها المضاد للستريبتوليزين O ، وقدم تقنية لتعبير هذه المادة ، تقنية ذات أهمية كبيرة من الناحية العملية وتطبق يومياً في العيادة .

إن أعمال ج . ف . ديك Dick . وج . ر . ديك (1924-1925) تسدل على إن الحمى القرمزية هي خناق تحدثه جرثومة تنتج سمّاً مولداً للاحمرار عند المريض الحساس . وقد تأكدت هذه الاعمال سنة 1942 على يد أ . هـ . ستوك الذي عزل بواسطة مرشحات مكورات عقدية قرمزية ، سمّاً بروتينياً يشبه ظاهرياً المادة المولدة للاحمرار (مادة الحمى القرمزية) .

إن المعطيات المتعلقة بالمناعة ، والدراسات الوبائية (ر . م . الواتر Alwater ، 1927 ؛ وم . ج . ولسن ، 1935-1940 ؛ وج . ر . بول ، 1943) قررت ان الإصابة بالمكورات العقدية التي تحل الدم من فئة A تلعب دوراً مطلقاً غير منازع فيه ، في حالات الروماتيزم المفصلي الحاد (م . ماكارتني ، 1956) . ويبدو ان الروماتيزم هو الترجمة العيادية لحساسية مفرطة ضد المكورة العقدية الموجودة بصورة دائمة في الجسم ، والتي تلعب بشكل مستمر دورها كمولد للمضادات .

إلى هذه الحجج المختلفة ، قدمت فعالية المعالجة الوقاية من الروماتيزم ، برهاناً حاسماً : فقد ثبت فعلاً ان استعمال الادوية الوقائية المضادة للبكتيريا ، الپنسلين بصورة أساسية ، يستبق

النكسة ، وإن معالجة الدغام أو التهاب البلعوم العقدي بواسطة المضادات الحيوية قادرة على منع ظهور الروماتيزم المفصلي الحاد (م . فر . همبرغر وه . م . ليمون 1946 ؛ ب . ف . موسيل ، 1946-1948 ؛ ج . و . هوفر 1949 ؛ و . الياس ، أ . ه . برايس Price وه . ميريان ، 1951 ؛ پ . موتزيكوناشي ، 1957) .

إن الفعالية الشفائية والوقائية التي يتمتع بها البنسلين ضد الحمى القرمزية قد حولت التطور كما حولت علم الوقاية من هذا المرض واعطت برهاناً آخر حاسماً حول طبيعته الخمجية العقدية .

عملت نشرات جورج George وجيروار Giroire (1926) ، ونشرات أ . ليمير ومعاونيه (1926-1937) على التعرف بالإصابة بالبكتيريا العنقودية الخبيثة في الوجه ؛ وعمل ما نشره غريزل سنة 1911 على التعرف بالتهاب الفقرات بالبكتيريا العنقودية . ولكن اكتشاف فلمنغ Fleming هو الذي قلب التطور العيادي للبكتيريا العنقودية .

وعلى كل حال إذا كان قد تم شفاء حالات إصابة بالبكتيريا العنقودية خطيرة فإن هذه البكتيريا اكتسبت مناعة ضد البنسلين . والمضادات الحيوية الأخرى ، كان عليها أن تدعم البنسلين . ومع ظهور الأرومات المقاومة ، عرف مرض البكتيريا العنقودية تطوراً لم يعرفه من قبل ، وأصبح هذا المرض مستعصياً تماماً في أغلب الأحيان (باربر ، 1948 ؛ فوربر 1949 ؛ سارتن وسورو ، 1950) .

في سنة 1911 رسم فيدال Widal ومعاونوه اللوحة النهائية لخمج الدم ذي « يفرفرنجن » وقرروا الطبيعية الانحلالية في الدم بالنسبة إلى اليرقان . وفي السنة التالية أكد شومن Schumn وهغلر Hegler هذا الوصف المرضي . في سنة 1921 قدم تيسيه Tessier وتلاميذه دراسة اجمالية حول خمج الدم الناتج عن عصية ذات جوف ضخم ، هي في أغلب الأحيان تعقب الخناق ، ويذا البنسلين فعالاً قوياً ضدها .

إن الأعمال التجريبية التي تابعها ريلي Reilly ومدرسته سنة 1934 بينت أن التيفوئيد هو خمجي وتسمم . إن التسمم الداخلي التيفوئيدي ، الذي توضحت طبيعته بفضل أعمال بوائين سنة 1942 يلعب دوراً فعالاً ورئيسياً بفضل انتحائه العصبي في توليد المرض . وفي سنة 1948 أدى تطبيق الكلور امفينيكول لمعالجة هذا المرض ، إلى قلب المسار العيادي والتطوري .

إن أعمال أ . بوائين Boivin والآنسة ل . كور Corre (1942) وأعمال ف . كوفمان (1944) ، دلت على تواتر - في النشأة المعدوية المعوية الالتهابية عند الأطفال - للعصيات الامعائية (كولون) المسماة « مولدة للمرض » ، والتي تبدو اختلاطاتها بالمولدات المضادة متنوعة بحيث انها أدت إلى تسمية أرومات العصيات بسلسلة من الاحرف والارقام مثل (26B6, 55B5, 111B4) .

هذا التعبير يجب أن لا يعني أن الانماط الأخرى من « اشيريشياكولي Escherichia Coli » ليست امراضية ، في حين ان البعض منها يمكن أن تعتبر مسؤولة عن اصابات خطيرة وخاصة عن

التهاب السحايا الفيحي . ان علم البكتيريا المتعلق بالامراض التسممية الغذائية ، وهو المعروف منذ أواخر القرن التاسع عشر ، مع اكتشاف عصية غاردنر (1883) وعصية ارتريك (1898) ، أو عصية «سلمونيلا تيفيموريوم» ، ان هذا العلم قد اكتمل منذ خمسين سنة . وفي سنة 1944 بين ج . س . ولسون وأ . أ . مايلز اكثر من اربعين سلمونيلا . ان العصية الباراتفويدية B والعصية ارتريك مسؤولتان عن أغلب الاصابات بالسلمونيلا أي أمراض الامعاء الملحوظة ، على الأقل في فرنسا (فرج Verge ودريو Drieux) . ان دور بعض الأرومات البكتيرية العنقودية التي تفرز سمماً معوياً ، يجب تجربتها أحياناً . وفي مطلق الاحوال يركز التشخيص على فحص البراز وعلى الزرع فوق امكنة خاصة (مولر - كوفمان ، كريستن - كوفمان ، س . شيمان) ، وعلى اختبارات تلازن وعلى رواتر تخمرية .

وقد أدخل القليل من التعديلات على جدول السعال الديكي . الا ان العيادة قد اغتنت بوصف الاختناق التنفسي (جان ماري وسيه See ، 1942) وبالدراسة الاشعاعية للرئة المصابة بالسعال الديكي (سميث ، 1927 ؛ ر . دويره ، 1939) .

ان تاريخ اكتشاف الجراثيم اللولبية (لبتوسبيروز) بدأ سنة 1915 على أثر الاكتشاف الذي قام به اينادا Inada وابندو Ido لجراثمة لولبية (لبتوسبيرا ايكتيرو هوموراجيا) في كبد حيوان مخبري كان قد اعطي دم حيوان مريض مصاب باليرقان المعدي الانتكاسي . ويُعرف اليرم أكثر من اربعين نوعاً من اللبتوسبيروز المولدة للمرض بالنسبة إلى الانسان . نذكر عزل « لبتوسبيرا غريوتيفوزا » (تاراسوف ، 1932) ، لبتوسبيرا كانيكولا (شوفنر وكلارنيك ، 1931) ، لبتوسبيرا بومونا (جيزل ، 1937) . ان علم الالوية المتعلق بهذه الامراض التي يعتبر انتشارها عالمياً بالنسبة إلى لبتوسبيروز أو مرض اليرقان النزفي قد درس بدقة . ان التشخيص عن طريق المصل ، الذي نصح به لأول مرة ل . مارتن وأ . بيتت Pettit سنة 1919 هو الطريقة الأكثر استعمالاً لتشخيص مختلف أنواع الامراض اللولبية .

ان مرض « اظافر الهر » أو لمفورييتيكلوز الخفيف الايلاجي قد انتظر حتى منتصف القرن العشرين لكي يتم وصفه .

وفوشي Foshay (1945) هو الأول الذي حدد فردية المرض دون أن ينشر عنه شيئاً ، وذلك باكتشافه التفاعل الداخلي الجلدي ، بواسطة مولد المضاد الذي أعده هنجر وروز . ومنذ 1947 سلم فوشي عينة من مضاده إلى ر . دويره الذي كان قد درس منذ زمن بعيد هذا المرض وقام بوصفه أولاً . وكان ب . مولارت وج . ريلي قد قاما بدراسات موازية سنة 1950 .

وبينت أعمال ر . ديغكويتز Degkwitz سنة 1927 وأعمال ت . تانيغوشي Taniguchi سنة 1935 ، ان الحصبة سببها فيروسي ، وكذلك الحميراء . وهذان الفيروسان زرعهما اندرس سنة 1962 .

وسنة 1942 استحدث هابل هذا المرض الأخير عن طريق الايلاج بواسطة «ماكاكوس مولاتا» ، ايلاج افرازات أنفية أو من الدم مأخوذة من مرضى مصابين بالحميراء ، ثم بايلاج

الفيروس المزروع فوق غشاء وشيقة السلى من جنين الفرخ . ان فيروس الحميراء يولد أمراض الجنين عندما يصيب البيضة بخلال الاسابيع الأولى من نموها . هذه الامراض الجنينية تحقق كثرات ، وتتسبب بالصمم وبامراض القلب (ن . مك اليستر غريغ Gregg ، 1941) . ونعرف الآن الانعكاسات الخطيرة لهذا المرض عندما يصيب امرأة حامل لاقل من ثلاثة أشهر .

إن مرض تضخم الخلية المتضمنة الذي يصيب الوليد الجديد هو مرض جنيني حاصر . والوصف الأول التشريحي قد نشر سنة 1904 من قبل جيزيونك Jesionek وكيولومينوغلو Kiolemenoglou اللذين وجدا الخلايا الكبرى المتضمنة ، في الكليتين والرئين والكبد في طفل ولد ميتاً . ان المظهر المرضي الخلوي (غود باستور Goodpasture وتالبوت ، 1921) يذكر بمفعول الفيروس . في سنة 1947 قدم د . ف . كاهل وم . ن . مكفرلان ، أول وصف عيادي للمرض . والبرهان على التشخيص يمكن أن يقدم باكتشاف خلايا عملاقة متضمنة في البول (ج . ه . فيرمان ، 1952) . وفي سنة 1956 توصل م . سميث إلى زرع فيروس المرض فوق أنسجة خلوية بشرية . وبعدها أعطت الزراعة وعلم الامصال المساعدة للتشخيص .

وتم تحديد ذاتية فيروس الحلاء (الهربس) سنة 1913 من قبل غروتر . هناك القليل من الامراض ذات الشهرة التافهة تفاحة شهرة الحلاء ورغم ذلك فإن هذا الفيروس الذي يبدو بريئاً ، يمكن ان يحدث في الوليد الجديد تعقناً في الدم فيوسياً ثم يتمركز في الكبد في أغلب الاحيان وبشكل اكثر دلالة (ج . م . هاس Hass ، 1935 ؛ و . و . زولزر Zuelzer وك . م . ستولبرغ Stulberg ، 1952 ؛ ج . ج . كليغان Quilligan وج . ل . ولسون ، 1951 ؛ ر . م . ب . بوف Pugh ، 1954 ؛ أ . ل . فلورمان 1952) . ان التمرکز السحائي الدماغي يأتي بعد التمرکز السابق من حيث التواتر ومن حيث الخطورة . ورغم ان البراهين الفيروسية والمصلية واجبة لكل تشخيص للقوباء (الهربس) ، فوجود مناطق - في الاعضاء المصابة وخاصة في الكبد - مصابة بالموت الموضعي مع اصابات كبرى بالفيروس داخل الخلايا ذات لون ثابت ، له مميز كاف يتيح التأكد من هذا التشخيص بشكل شبه يقيني .

إن المراحل الكبرى في تاريخ الاكتشافات المتعلقة بكساح الاطفال بدأت سنة 1909 في تونس مع اكتشاف قام به ش . نيكول وكونت وكونسي لانتقال التيفوس التاريخي بواسطة قمل الجسد . في سنة 1916 اكتشف أ . ويل وأ . فليكس هذا المسبار القوي في التشخيص وهو تلازن بعض البروتوس protéus بدم الاشخاص المصابين بالكساح ، وهو سبر جيد وإن غير مفسر . ان العوامل التي تولد الحمى الحبيبية المتوسطة ، والتيفوس التاريخي ، والتيفوس الموريني ، والحمى القرمزية في الجبال الصخرية ، والحمى القرمزية الجنوب اميركية ، قد وضعت بالتدرج موضع التأكيد . ان تفاعلات انحراف العنصر المتم قد وصفت من قبل بلوتر سنة 1942 . وقد خصصت الاعمال الاكثر حداثة بشكل خاص للبحث عن طرق سهلة لزراعة الكساح ، ولاعداد مصول تشخيصية خاصة ولتحضير طعوم ميتة (ويغل ، 1930 ؛ ب . دوران وب . جيرود ، 1940 ؛ ه . ر . كوكس ، 1942) . ويغير مفعول المضادات الحيوية بشكل فريد تطور الكساح ويؤدي في

أغلب الأحيان إلى شفاء عاجل شرط اعطاء المضادات بشكل غير متأخر .

وفي سنة 1937 عزل أ . هـ . دريك لأول مرة اصابة لوحظت لدى اشخاص يعملون في المسالخ ولدى مزارعين يحتكون كثيراً بالحيوانات الكبيرة ، ثم لدى عمال المختبر . وفي ذات السنة عزل ف . م . بورنت وم . فريمان العامل المسبب للمرض وهو ريكتسي اعطاه دريك سنة 1939 اسم « ريكتسيا بورنتي » ؛ وعرف المرض وهو ذو انتشار عالمي ، تحت اسم حمى كوينسلاند . ان الشخص المصاب ، ومفعول انحراف العامل المكمل أتاحا بسهولة تشخيص هذا المرض الذي يظهر بشكل حمى وغالباً بشكل التهاب رئوي شاذ .

إن التعرف على كثرة أحاديث النواة الوبائية جاء متأخراً نسبياً . وفي سنة 1920 اقترح سبرنت وايفانس كلمة وحيد النواة الوبائي ، لمرض كان ن . ف . فيلاتوف ، وأ . فيفر وتورك قد ذكروا ملاحظات حوله .

في سنة 1928 جمع پ . شوفاليه تحت اسم « ادينولمفيت الحاد والتافه مع تكرار الكريات البيضاء المعتدل وكثرة أحاديث النواة » أعراضاً مرضية بدت له معزوة إلى نفس الاسباب . وفي سنة 1932 اكتشف بول ويونل وجود تغيرات مصلية ساهمت في حدوث مرض خاص ، وهذه التغيرات المصلية تستعمل اليوم بشكل شائع من اجل التشخيص . ونقل پ . ج . ويزنغ (1942) من جهة ، و . سوهير وپ . ليبين وف . سوتيه (1940) من جهة أخرى ، نقلوا إلى الانسان وإلى القرد اصابة ذات سمات جرتهم إلى القول بعدم امكانية تلقح المرض ، ويتدخل محتمل لفيروس متناهي الصغر في احداث هذا المرض . وبدت المشابهة العيادية والدموية مع مرض الكريصات الحاد واضحة ، كما ان تشخيص المرضين اصبح اليوم سريعاً واكيداً .

ومن بين الاصابات بالطفيليات هناك اصابة لم يتم التثبت منها الا بخلل النصف الأول من القرن العشرين ، وهي التكسويلاسموز أو تسسم البلاسما .

إن وصف الطفيلي المسمى تكسويلاسماغوندي يعود إلى شارل نيكول ول . منصور Manceaux اللذين اكتشفاه سنة 1908 في احد القواضم الصغير المستخدم في المختبر باسم « غوندي » . وطيلة حقبة طويلة لم يتجاوز درس هذا الطفيلي التجريب الحيواني ، وان كان قد سبق لليفاديتي سنة 1928 ان التفت إلى المشابهة بين التكسويلاسموز أو تسسم البلاسما الحيواني ، وبعض حالات التهاب الدماغ الطفولي والذي كانت أوصافه ذات احياء (جانكو Janku ، 1923 ؛ توريس Torrés ، 1925) . ودعا ليفاديتي العياديين إلى التفكير بالبحث عن هذا التشابه .

وفي سنة 1939 فقط ، قدم أ . ولف ، پ . كوين ود . بيج البرهان على التسسم البلاسمي البشري . ومنذ ذلك الحين تكاثرت الملاحظات في كل البلدان ، بواسطة وسائل التشخيص الناتجة عن بحوث بيولوجية برزت فيها أسماء أ . سابين وفلدمان وفرنكل . وفي فرنسا كانت الحالات الأولى المدروسة ، من فعل م . لولونغ وليتانغن وج . ديمونتس 1948 . وعندما يصيب

التسمم البلاسمي امرأة حاملاً فإن الوليد الجديد يتعرض لأن يصاب بمرض النخاع الشوكي الحاد أو تظهر عليه أعراض اليرقان الخطير المميت . وعند الراشد يؤدي تسمم البلاسما إلى تكوّن اشكال ليفية غددية أو جلدية أورثوية ، وتظهر اعراض خفية وبسيطة . وهناك طريقتان متبعتان اليوم تعتبران صالحتين للتشخيص وهما : ردة الفعل ضد تثبيت العنصر المكمل ثم « الصبغة الاختبارية » (Dye-test) التي قال بها أ . ساين وفلدمان سنة 1942 .

XIV - السرطان

أصبح السرطان أحد المشاكل الطبية الكبرى في القرن العشرين . والفموض حول نشأته وطبيعته وعلاقته بتكاثر الكريضات ، وضعف الوسائل الجديدة المستعملة لمكافحته - رغم أن بعضها يعتبر رائعا - ، وبعض الروابط بين هذا المرض والاحداث الأساسية في التاريخ الحديث - مثل القنبلة الذرية على هيروشيما - ، وكون تكاثره المطلق يزداد كثيراً مع شيخوخة السكان ، وكذلك تكاثره النسبي المرتبط بمعرفة أفضل ويتضاؤل خطر العدوى ، كل ذلك يشكل عناصر مهمة تجعل العالم المعاصر يهتم بهذا السبب الرئيسي للآلام والموت . ويعكس ما هو الحال بالنسبة إلى علم الفيروسات ، حقق علم السرطان تقدماً بخلال النصف الأول من القرن العشرين ، لا في مجال التشخيص أو الاستباق أو توسيع المعارف العلاجية ، بل في مجال أسباب المرض ، ومولداته ، وذلك بفضل سلسلة مزدوجة من الملاحظات الجديدة على الانسان والحيوان التجريبي . وأخيراً يبدو المجالان مجال علم السرطان ومجال علم الفيروسات - رغم تباعدهما من حيث مفاعيلهما الامراضية عند الإنسان - متقاربين اليوم بفعل بعض التجارب والتقنيات المشتركة مثل زراعة الأنسجة .

وإنه قبل كل شيء من اجل تبين صحة هذه الفرضية أو تلك باعتبارها مؤهلة لتفسير ولادة السرطان ، قدم المتخصصون في مجالهم وقائع جديدة ومهمة ؛ وانطلاقاً من أفكار حول ولادة المرض نستطيع نحن عرض التقدم الحاصل .

لا شك إن الدراسات ذات القيمة حول الخلية وحول النسيج السرطاني ، وتكونهما الكيميائي ، وذخيرتهما الانزيمية ، ومفعولهما الايضي ، وزراعتهما ، واقتسامهما ، وأخيراً التحول الخبيث والمفاجيء للخلايا الطبيعية المزروعة على الحي (ايرل ، جاي ، وستانفورد) وامكانية تطعيم السرطان (هانو 1889 ؛ مورو Morau 1891 ؛ لوب 1901 ؛ جنسن 1903) كل ذلك كان له وقع حي . ان شروط نجاح التطعيم وسلوك السرطان المطعم ، وخاصة ظاهرات التطعيم ذات الأهمية الكبرى كانت موضوع أعمال تجريبية ذات قيمة كبيرة . مع ذلك ، فالاكتشافات التي تعنى بالتأثيرات الفيزيائية والكيميائية والطفيلية والفيروسية ، وتأثير الوراثة والتغذية والهرمونات هي التي تستحق الوقوف عندها .

إن النظرية الاحتكاكية والالتهابية المعروفة منذ زمن بعيد مع تأثيرات الضوء الفيزيائية ، وتأثيرات الحرارة ، والاصابات المستعصية الوبائية ، والتسامتها ، قد تجددت باكتشاف الاشعة المولدة للسرطان .

ومنذ الاصابات الاولى بالاشعاع من القرن الماضي أمكن (كلونت ، 1910) أحداث سرطانات في الحيوان بواسطة أشعة X ؛ هذه الاعمال أكدها ب . بلوش سنة 1924 ثم جوكوف سنة 1927 ، ثم لاسكانيه وفانسان سنة 1929 ولودين سنة 1934 ، وفورث سنة 1936 . ان تأثير المواد المشعة ، أشار إليه لأول مرة سنة 1924 طبيب الأسنان ت . بلوم لدى عامل يشتغل بالراديويم ؛ في سنة 1931 ذكر مارتلانا Martiana إن واحداً على 100 من المغمرا من بروسور الراديويم اذا وزع على كل الهيكل العظمي يكفي حتماً لأحداث سرطان العظم . ومادة التوريويم صفت بدورها بين العناصر المولدة للسرطان . وتجارب م . غيرين وروسي وغيرين سنة 1933-1934 جاءت معبرة ثم أكدت واستكملت بعد ذلك من قبل العديد من الباحثين . وهذه الوقائع المختلفة قد استرعت انتباه الأطباء الذين كانوا يستعملون عشوائياً التوروستراست الذي يبقى في الجسم طيلة الحياة .

في الواقع تبين ان كل المواد المشعة وكل العوامل الكهربائية المغناطيسية المشعة تولد السرطان . تلك هي الواقعة الرئيسية الناتجة عن دراسات حديثة .

فمنذ وصف سرطان منقفي المداخن (برسيغال بوت ، 1755) كم من تقدم في معرفة الاجسام الكيميائية المولدة للسرطان ! ومنذ 1916 حتى سنة 1921 وقعت أعمال يماجيرا Yamagiwa وإيشيكاوا Ichikawa حول استحداث السرطان بواسطة القطران ؛ وبعد ذلك حصل مورفي وستورم على سرطان من بعيد ، أي بعيداً عن المنطقة المقطرنة . هذه الاكتشافات أدت إلى الاكتشاف المدوي (اوبرلنغ Oberling) للكربور المولد للسرطان .

من الثابت ، وبصورة تدريجية (روس وكروير ، 1913 ؛ ب . بلوك Bloch وديفوس ، 1931 ، ديلمان ، 1922 ، ميسين Maisin 1923) ان الصفات المولدة للسرطان في القطران مرتبطة ببعض التكسيرات . ورأى كينواي Kennaway ومعاونوه (1930) ، ج . و . كوك (1932) إن الاجسام المولدة للسرطان كثيرة .

ومنذ تلك اللحظة أحدث دور الكربور المولد للسرطان العديد من الدراسات (الدور المحلي ، الاثر من بعيد ، الشروط الملائمة أو غير الملائمة) وفتحت هذه الدراسات آفاقاً جديدة .

إن القرابة الكيميائية الضيقة الموجودة بين الكاربور المولد للسرطان ومجموعة الاسترويدات تمثل اكتشافاً غير متوقع وأيضاً أحد المكتسبات الأساسية في الطب الحديث (اوبرلنغ) .

ومن بين الإستروولات تقع في المرتبة الأولى هرمونات القشرة فوق الكلية والهرمونات الجنسية .

من هنا سلسلة من الوقائع الرئيسية الثابتة : استباق لسرطان الثدي في الفأرة وذلك باستئصال المبيض (لوب ، 1919) ، استحداث سرطان الثدي بواسطة هرمون الاستروجين (لاسكانيه Lacassagne ، 1932) واصبحت الطريق مفتوحة على يد المكتشفين الأوائل لسرطانات محددة أو

مكبوحة بواسطة الهرمونات ؛ وبدأ هذا الطريق مملوءاً بنتائج مهمة .

ومع الأبحاث العظيمة بدأ مجموع جديد من الاجسام المولدة للسرطان يتكشف : صفار الزبدة (كينوزيتا) ، زرنخ ، ازرق التريمان ، كروم ، رصاص ، وبدأ البحث اليوم عن عنصر مشترك بين كل هذه المواد وأسلوب عملها . وانطلاقاً من هذه البحوث درس سرطان المدخنين (القم ، القصبات ، المثانة) بعناية عند الانسان (دول وهيل ، 1950 ؛ شريك ، باكر ، بلارد ، دولغوف) ، وانصب الاتهام على الطعام عند الانسان (الشحوم الحارة حيث تدخل الكربورات المولدة للسرطان والإسترولات) ودرست حالات السرطان البشري المرتبطة بالافرازات المزاجية ، وبالعكس الاثر الكايع للهرمونات في سرطان الثدي والمبيض والخصيتين والبروستات .

أفكار جديدة ، تجارب مثمرة ، استطاب مفيد تلك هي جردة عمل الباحثين المنصرفين إلى دراسة المواد الكيميائية - بما فيها الهرمونات - ذات المفعول المولد والكايع . ولكن هناك عاملاً رئيسياً يساعد أويكح مفعول المولدات هو الوراثة .

إن الوراثة المعروفة منذ زمن بعيد عند الإنسان ، قد درست بصورة أفضل (ورم في الشبكية ، اوضاع متعددة خبيثة في المعى ، الخ) وكانت موضوع تجارب لا حصر لها . وكانت مود سلي الأولى التي عثرت على ارومات حيوانية محضة ، مريضة وأخرى سليمة .

إن وقع هذه الدراسات قد أتاح ، بعد كثير من البحوث رؤية الوراثة وكأنها هنا وراثه أرض ووراثه تكوين . فضلاً عن ذلك ، وعند الانسان ، هناك اجماع عموماً على الاعتقاد ، مع اوبرلنغ ان العوامل الخارجية المستقلة عن الوراثة تلعب دوراً أهم من الوراثة ، كما تنبأ بذلك أ . بورل الذي زعم بحماس ان السرطان سببه فيروس يدخله إلى الجسم طفيلي ما .

لقد اقتصر عمل فيبيجيه على جرداته المربوعة بالسبيرويتيرا ، التي اعتبرت فيما بعد كجردان مسرطنة ، ودوننغ وكورتيس (1946) مع يرقات التينيا ؛ وك . بون ، وساندغروند ، (1936) مع الاورام الطفيلية في القرد ، اقتصروا على تبين تأثير ممكن لفيروس ادخله طفيلي ما . في سنة 1910 نجح ف . ب . روس بنقل سرومه إلى دجاجة بواسطة التسريب ثم نقل ورماً عظماً وخلوياً ثم ورماً نسيجياً .

إن فكرة النقل الفيروسي فرضت نفسها ، وكانت نقطة انطلاق للعديد من البحوث في كل المجالات . ان السرکومات التي يمكن تسريبها من الطيور ، قربت من الامراض الكريضية الطيرية ، وكذلك من مرض البلاستومات في الدجاج ، ومن الورم الحليمي المولد للسرطان في الأرنب ومن سرطان الثدي في الفأرة ومن الأورام المختلفة عند الحيوان المنقولة بالتسريب (ألرمان Ellermann وياغ ، 1908 ؛ ش . اوبرلنغ ، م . غيرين وكثيرون آخرون) .

إن النظرية الفيروسية تتركز على وجود فيروسات مولدة ؛ وهي مدعومة بقوة في الوقت الحاضر وتتخذ كفضية عمل من قبل العديد من الباحثين .

وكما رأينا يشكل علم السرطان الحديث اليوم عالم دراسات وهو محفوف بالآمال ويرتكز

حتى في المجال الاستطبابي والوقائي على معطيات ثمينة .

XV - أمراض الكولاجين (الأمراض الهلامية)

في سنة 1942 طبق ب . كلمبرير ، أ . د . بولاك وج . باهر كلمة أمراض الكولاجين على الاصابات الحادة أو المستعصية المختلفة جداً من الناحية العيادية ، ولكن تجمعها اصابات نسيجية مشتركة مثل : اصابات تتركز في النسيج التوصيلي الملحمي وتقوم على تفهقر في ألياف الكولاجين أو الهلام .

هذا التغير في ألياف الكولاجين أو الهلام اتخذ كقاعدة وكمعيار لربط مجموعة من الاصابات متنافرة نوعاً ما . من ذلك لوبوس اريتماتوس وتيس في الجلد ، روماتيزم مفصلي حاد وتكلس عقدي ، التهاب المفاصل الحاد والمتفقم ، امراض الجلد العضلية .

إن اللوبوس اريتماتوس المنتشر كان أول ما دخل في مفهوم أمراض الكولاجين أو الهلام . وهو يظهر بشكل اضطرابات بيولوجية ومزاجية خاصة جداً . وقدم اكتشاف الخلية L. E قبل هارغرافز ، ه . ريتشموند ، ومورتون من « المايوكليتيك » ، سنة 1948 ، في الجبل الشوكي ، ثم في الدم الاطرافي لدى المرضى (د . مساندبرغ ولوك) ، والثبت من العنصر L. E البلاسمي ، وذلك بإثارة ظهور الخلايا L. E ، وبوجود بلاسما الكبديين من المريض مع دم اطرافي عادي (موفات ، بارنس وويس) كل ذلك قدم للتشخيص معيارين بيولوجيين لهما قيمة .

إن اللوبوس اريتماتوس يتضمن أعراضاً جلدية مخاطية خاصة جداً وله وقع حشوي صعب الوصف . ودراسة الاصابات النسيجية تتيح اعتبار النكروز (موت الخلايا) الليفي كنتيجة لمفعول العنصر L. E البلاسمي المثبت بالفعاكربين ؛ ويرى البعض ان هذا العنصر هو جسم مضاد ، مناقض للنسيج الوسطي (انتيمزانسيم) وله أثر في المناعة (كلمبرير Klemperer) .

إن تيس الجلد يبدو بمظهرين كبيرين اما تيس جلدي أدمي ملحوظ خاصة عند الاطفال وهو يتطور إلى تحسن في الغالب ، أو تيس متنام يبدأ بتيس أصابعي ثم يتعمق بصورة تدريجية ويتطور بشكل مستعص ، وهو من نصيب الراشد البالغ .

في هذا الشكل الأخير من المرض نلاحظ ببساطة التمرکزات الاحشائية (القلب والكلى) ، وبعض هذه التمرکزات مشتركة مع الامراض الكولاجينية الأخرى ؛ ان الانتشار اللحمي يجز وراءه تصلباً ضخماً ، ولكن الاصابات النسيجية تشبه الاصابات التي تصيب الجلد والعضلات ، وليست اصابة العضلات فيها حالة استثنائية .

إن التهاب العصبي الواسع والتهاب العصب والجلد (الاشكال الحادة عند واغنر 1863 ، وانفرريكت 1891 Unverricht ، والاشكال المستعصية عند بتجس Petges وكليجات 1906 ، Clejat) تبقى محصورة في معظم الحالات بالاصابات العضلية والجلدية التي تتحكم بها .

وتشخيصها أصبح اليوم سهلاً بواسطة المقياس الكهربائي للعضلات (الاصابة العضلية الأولى) ثم الاصابة العضلية الاحيائية (مرض العضلات التفهقري للمفاوي) . وليس من الممكن دائماً أن يميز الفحص النسيجي بين الالتهاب العضلي وبين تيسر الجلد المضاعف بالتهابات عضلية (نورين) .

وتربط أيضاً بأمراض الكولاجين أمراضاً أخرى محددة تماماً من الناحية العيادية مثل : الروماتيزم المفصلي الحاد الذي تقوم اصابته الأساسية على التهاب أساسي في عضلة القلب ، وفي عقدة آشوف ، وهو يتضمن اصابة ليفية لحمية مقرونة برشح اديمي جلدي . من ذلك الالتهاب الشرياني العقدي الذي تظهر اصابته الأساسية في انحلال ليفي يصيب الكولاجين .

الواقع ان هذا الانحلال ليس خصوصياً تماماً الا من حيث توبوغرافيته الشريانية الاطرافية (أ . كوسمول ور . مرسية ، 1855) . وتثار هنا النشأة الناتجة عن الحساسية (غروب ، 1925) ، أو النشأة الهورمونية (سيللي ويوتز ، 1943) ، دون أن تثبت أي من الحالتين . ويدور نقاش حول علاقات هذه الاصابة مع الاصابات الكولاجينية الاخرى وخاصة مع بوربوراً روماتيزماً التي قال بها شونلين وهينوك ومع بعض الامراض الوعائية ، ومع مرض المصل .

الواقع إن مفهوم الكولا جينوز بقي مضللاً بغموض غير حاسم . فالاصابة النسيجية ، هذا التفهقري الليفي قلما يكون خاصاً محدداً وهو مبتعث بكثير من العناصر المختلفة ، فلا يمكن أخذه كمعيار تشريحي صالح بصورة دقيقة . ان اختلال المعيار البروتيني وفرط الغماكرين ، والتثقل السكري المتعدد للبلاسما ، والتغيرات في الميكوبروتينات المصلية ، واكتشاف بروتين C المنشط ، كلها من الدلائل المزاجية التي لا تعمل الا على نقل الاضطراب إلى الصعيد البلاسمي دون أن تحده . ان أيأ من هذه الاختبارات أو الروايز ليس خصوصياً ذاتياً . ان الوصف العيادي لهذه الامراض ذات الاشارات المميزة يجزئنا هو أيضاً إلى طريق مسدود أكيد . ان الأثر الجيد لحامض A. C. T. H أو للكورتيزون ، الذي يصحح أوضاعاً ميؤوساً منها ، هل يستحق الوقوف عنده باعتباره ذريعة لصالح سببية مشتركة ؟ الواقع ، ان أثر الهورمونات شديد العمومية وقليل الخصوصية فلا يصح الأخذ به .

هل يتوجب القول بأن كلمة كولاجينوز لا تضيف إلا كلمة بدون قيمة إلى المعجمية الطبية ؟ الواقع ان الاشكال الوسيطة من الامراض الجلدية الحشوية الخبيثة ، والامراض الجلدية العضلية ليست استثنائية ؛ فهناك أشكال ضائعة بين الجلدية العضلية والجلدية المتصلبة ، بين الالتهابات المفصالية العقدية ، والجلدية الاحتقانية من جهة ثم امراض الكولاجينوز الأخرى من جهة ثانية ، ثم أيضاً وقائع ضائعة بين الكولاجينوز المذكورة والروماتيزم المفصلي الحاد والالتهاب المفصلي المزمن والمتفام .

إن هذه المقاربات هي التي تبرر في النهاية كلمة كولاجينوز . فضلاً عن ذلك ان مفهوم كولاجينوز قد أعطى قوة كبيرة للبحث في مجال النسيج اللحمي وكذلك لتحديد العوامل التي

تتحكم بالمرونة الكيميائية لهذا العنصر الدائم التحرك . ويتوجب علينا ان ندرك أهمية المادة الأساسية في النسيج اللحمي ، وأهمية الباتولوجيا (علم الأمراض) الخلوية الداخلية إلى جانب الباتولوجيا الخلوية الكلاسيكية وشبه المحصورة . وعلى هذا الاساس يبدو مفهوم كمبريو موفقاً ، ومفهوم كولا جنيز أو مولدة الهلام ، وراء الهياكل المولدة للأمراض والمغرية انما المؤعزة ، يبدو فعلاً ومخصباً .

تقدم الاستطبابات

إن علم الاستطباق في القرن العشرين جمع انجازاته إلى انجازات الطب الوقائي والصحة العامة فلعب دوراً رئيسياً في تاريخ البشرية .

في أواخر القرن التاسع عشر أين كان الوضع في مجال الاستطباق ؟ الجواب يلخصه الدكتور آتيان ماي E. May في صفحة ممتازة فيقول :

« وهكذا عندما انتهى القرن التاسع عشر ، تمت انجازات كبرى وبعضها كان مشهوراً . ومع ذلك ، فإن هذا العمل كله - وهذا ما يجب الاعتراف به - مليء بالوعود أكثر مما هو بالنتائج المباشرة . فإذا كنا نمتلك معالجة فعالة ، على الأقل في حالات متعددة ، ضد الدفتيريا وضد الكلب ، فإننا ما نزال عاجزين أو ناقصي الأسلحة ضد الأمراض الوراثية الأخرى . إن الأمراض الحادة التنفسية ما تزال مشوبة بعبء ثقیل من الموت الذي لا نمتلك ضده أية وسيلة مقاومة فعالة . إن الروماتيزم المفصلي قد تحسن كثيراً بفضل الساليسيلات الصودا ؛ ولكن أشكاله الخطيرة ما تزال مستعصية عليه ، وترك أمراضاً قلبية نهائية يعيش الإنسان معها معاقاً إلى حد ما أو أنه يموت شاباً . ولا نعرف أي علاج فعال ضد حمى التيفوئيد ، التي كانت طريقة الحمامات الباردة فيها تخفف قليلاً من خطورتها ، بعد أن ابتكرها السويدي براند . أما حمى النفاس فقد أصبحت نادرة منذ ممارسة التطهير ثم التعقيم ؛ ولكنها عندما تقع فلا دواء لها وهي في أغلب الأحيان مميتة . والسل يكتسح فيقف الأطباء أمامه عاجزين عملياً . ويستمر السفلس يعالج بواسطة الزئبق ، وهذا علاج أفضل من الماضي ، ولكنه أي السفلس يبقى مرضاً عضالاً ارتداداته المتأخرة وبأشكال وعائية أو عصبية خطيرة تعمر المستشفيات والمآوي ، في حين إن السفلس الموروث يبقى مموناً لأطباء الصحة العامة والأطفال . وكذلك الأمر بالنسبة إلى الأمراض المستعصية التي تصيب مختلف الأعضاء ، وكذلك أمراض التغذية . فالسكري بشكل خاص لا تمكن معالجته إلا عن طريق الحمية ، ونسبة الموت فيه تبقى ضخمة خاصة عند الشباب . وينظر الطبيب عاجزاً أسفاً إلى موت المصابين بضعف الدم ، وإلى المرضى بمرض اديسون ، وفي أغلب الأحيان أيضاً إلى المرضى بجحوظ العينين . وخارجاً عن هذه الأمراض ذات الخطورة العالية ، من الصعب تحرير المرضى من الاضطرابات التي تؤرقهم .

هذا العجز النسبي يؤدي ، لدى الكثير من الاطباء ، وحتى لدى الافضل منهم ، إلى شك بالطب عظيم . ان العمل في المستشفيات يهتم بتشخيص المرض وبالتشريح وبالفيزيولوجيا أكثر مما يعني بالتطبيب ، حتى بوشارد الذي كانت شهرته كبيرة في أواخر القرن التاسع عشر ، اشتكى من رؤية الطلاب يتعلمون الامراض وعلاجاتها ويفقدون الاستعلاء عن معالجاتها ؛ فالاطباء يعضون وقتاً ضخماً في استكشاف اعراض وفي وضع التشخيص ، ويعدّها يتناسون وضع العلاج أو يقومون بهذا الواجب المزعج اراحة للضمير ، وعلى عجل وبخفة باعتبارها مراسيم عبثية . ان وضع التشخيص ومعاينة الاصابات على الجثث ، ذلك كان هدف النشاط الطبي ؛ أما المعالجة فلم تكن الا امتيازاً يفرضه الحاح واعتياد الجمهور .

كل هذا قد تغير تماماً منذ نصف قرن ، كما يدل على ذلك تاريخ الاستطبانات بخلال الخمسين سنة الماضية .

II - مقاومة الوباء

إضافة إلى المعرفة العلمية بالامراض الوبائية ، معرفة تعتبر احد أمجاد القرن التاسع عشر ، جاء استعمال اسلحة منتصرة . فقد تمت حماية الطفولة ضد الاشتراكات المأساوية التي كانت تحدثها بعض الامراض الفيروسية ، كما حميت الطفولة من الميكروبات الشائعة مثل الاصابات الشعبية الرئوية ، والتهاب الاذن والتهاب السحايا والتهاب الاعضاء ؛ وفي سن الرشد لم يعد الانسان يعاني من الالتهابات البولية ، والعجز لم يعد يسقط من جراء التهاب الرئة ؛ واصبح السل قابلاً للشفاء اينما كانت مواضعه . وزال السفلس الولادي حتى ان طلابنا لا يعرفونه الا من خلال كتبهم . أما الاوبئة العامة الكبرى الاستوائية ، مثل امراض النوم والكوليرا والتيفوس والحمى الصفراء والداء الجلدي (بيبان) ، كالأزار ، وفوق ذلك كله الملاريا وكانت كارثة تاريخية مسلطة على البشرية ، تراجعت أمام العمل الوقائي والصحي والتطبيبي للإنسان . والجذام وهو مرض مخيف « رمز الخطيئة » أصبح مغلوباً والتراخوما التي كانت تعمي الكثير من الأولاد غلبت بنجاح .

لا شك ان هناك أمراضاً فيروسية ما تزال باقية ، فلا تعالج الا بالتلقيح مثل شلل الأطفال الذي يشكل التلقيح سلاحاً صالحاً ضده . وتبقى أيضاً صعوبات تطبيق الطرق والادوية الجديدة ، التي تمنع ، في كل البلدان من انتصار الانسان بشكل عام . ولكن أدوات الغلبة ووسائلها متوفرة له .

لا شك ، في هذه المعركة ، ان لا شيء قد انتهى ، ولا شيء حاسم : فالاعداء المهاجمون مثل البعوض والبكتيريا تولد اعراق مقاومة بفعل الانتقاء ، أو ربما بالتحول عن طريق الانتقاء . وعندها ، إما أن تغير اسلوب الهجوم أو ان نضيف مواد جديدة ، أو نكتشف أدوية جديدة . لا شك فيما خص الفيروسات ، هناك أنماط أخرى منها قد تأتي لتحل محل الفيروسات التي قضى عليها العمل البشري . لا شك إن إغبار الامراض الوبائية المفاجيء مثل الانفلونزا ، ما يزال يهدد البشرية . ومع ذلك فإن نهاية الكوارث بالنسبة إلى الأطفال ، واستطالة العمر الوسطي في الحياة ، وتزايد السكان في الشعوب السائرة في طريق النمو انما تعزى في قسم كبير منها إلى الانتصارات

المحققة في المعركة ضد البكتيريا وضد الجراثيم اللولية وضد الطفيليات ، ناقلات ومخترنات العوامل المولدة للأمراض .

II - الاستطباب البيولوجي

إن القرن العشرين قد ورث من عصر باستور طرق مناعة ايجابية بفضل الأمصال ، وناشطة بفضل اللقاحات . والواقع ان التطيب بالأمصال المضادة للدفتيريا (بهرنغ و كيتاساتو Kitasato ، 1890 ؛ اميل رو E. Roux ، 1894) ، والمصل ضد التيتانوس (بهرنغ و كيتاساتو ، 1890 ؛ روفايارد) الذي أثبت القدرة الاستباقية الوقائية للمصل إذا طبق في وقت لا يوجد فيه إلا جرح مولد للتيتانوس ، ومصل مقاومة الطاعون (يرسين Yersin ، 1894) ، والمصل ضد مرض الفحم (سكلافو ومارشو 1895) كل هذه الأمصال افتتحت وانتهت بأن واحد مهمة العلاج بالأمصال باعتباره ، العلاج الخير .

لأن المصل المضاد للزحار (الزنطارية) (رونتال ، تود ، فياردت ، دويتز ، 1903 - 1904) والمصل المضاد لالتهاب السحايا بالمكورات (توكمان ، 1906 ؛ فلكسنر Flexner ، 1907) لم يعطيا الا نتائج غير كافية (نير ودوبريه ، دويتز Dopter) واستعمال الامصال من اصل بشري يقدم حتى الآن بعض الخدعات في الصراع ضد الحصبة (ش. نيكول وكونساي، دوكويتز، ر. دوبريه)، وضد شلل الاطفال وضد التهاب الكبد الوبائي ، انما على أساس وقائي فقط (إلر وليفاديتي ، هانيمار) . في الوقت الحاضر ، وبفضل تكسير الالبومينات أو الزلالات المصلية (كوهن Cohn) تستعمل النماكرين . وبالمقابل ان التلقيحات ، المتولدة عن عمل باستور حول الكلب تابعت مسارها ابتداءً من نهاية القرن التاسع عشر . والتلقيح ضد حمى التيفوئيد بواسطة الزرق للجراثيم الميتة (آ . رايت ؛ فيفر ، ف . ف . روسل ، شانتاماس ، وفيدال) قد تطور بخلاف الحرب العالمية الأولى ، وما يزال مستعملاً حتى الآن .

وفعالية هذا التلقيح وكذلك حدوده ، وخاصة وقوع بعض الحوادث ، وضرورة الزرق المتكرر ، ومعرفة أفضل بتوليد الاجسام المضادة الميكروبية ، كل ذلك كان من المكتسبات المفيدة من اجل استخدام التلقيح ومن أجل الدراسات المتعلقة بالطعوم الأخرى :

إن التلقيح ضد السل كان قد نجح على يد كالميت وغيرين بعد عدة حالات فشل . والعصية البقرية الفتاكة المزروعة من قبل الباحثين فوق وسط صفراوي ، ثم اعادة زرعها عدداً كبيراً من المرات في هذا المكان (1906 - 1919) ولد عرفاً مخففاً (عصية كالميت وغيرين : B. C. G.) قادراً على الحد من اصابة محلية خفيفة جداً قابلة للشفاء مقرونة بالتهاب غددي بسيط ، ومحدثه بأن واحد حساسية خاصة ومناعة ضد تفاقم المرض بعصيات بشرية أو بقرية آتية من الوسط الخارجي . وتلقيح الانسان الذي جرى لأول مرة على المواليد الجدد من قبل ويل - هالي وتوربين (1922) ، يدل على عدم ضرره بالنسبة إلى نوعنا ، وقد دلت على ذلك ملايين الحالات من تعاطيه عن طريق الفم وعن طريق الجلد فيما بعد . والعرق ، قد يتنوع قليلاً فيولد اعراقاً وليدة أكثر فتكاً إلى حد ما أو أقل فتكاً بقليل (ر . دويوس) ، ولكنه لم يسترجع أبداً سمته الامراضية الاساسية .

ورغم المأساة (كما يحصل غالباً في بداية استعمال كل طرق التلقيح ، وسببها هنا الاضافة المجرمة التي قام بها طبيب من لوبيك ، اضافة عروق بشرية فتاة إلى لقاح كالمت) ، ورغم صعوبة اثبات ، وخاصة قياس فعالية هذا اللقاح ، فإنه قد انتشر في العالم اجمع : وبيئت تجارب حاسمة (بالشهود) فعاليته ودوره في تقصير الحالة الامراضية في السل اثناء الحملات الجماهيرية وخاصة في افريقيا وآسيا واميركا الجنوبية وأيضاً في بعض بلدان أوروبا .

والطريقة معتمدة عموماً في مكافحة السل رغم المدة المحدودة لمفعوله ورغم الحاجة إلى إعادة التلقيح . وكان في هذا أول معركة ناجحة ضد الكارثة السلية ، معركة ما تزال غير كافية من أجل تحقيق الانتصار الكامل .

وكانت الحمى الصفراء موضوع بحوث صبورة وصعبة (و . ريد ، أ . مارشو ، وج . غورغاس ، أ . ستوكس ، م . تيلر ، و . لويد ، الخ) . ان التلقيح ضد الحمى الصفراء يستعمل إما فيروساً عصبي المنحي في الفار المستخدم كضحية (بلتيه ، دوريو ، جونشير ، أركيه ، 1939) أو يستعمل فيروساً مخففاً مزروعاً في انسجة جنينية (فوكس ، ليني ، مانوسوزا ، اغيار ، 1943) وهو الأكثر استعمالاً من السابق لأنه لا يحدث انعكاسات .

إن التلقيح ضد التيفوس ، ومحاربة ناقلاته قد أتاح لجسم هذا المرض الذي يحصل في كل الخروب .

إن اللقاحات الحية التي حضرها ليفريه (1939) ، ودوبلان وبالشازار (1941) Balthazard أعطت نتائج ملحوظة ولكنها ليست محمولة دائماً . واللقاحات الميتة التي أعدها دوران وجيرو Giroux (1940) ، والتي تستخدم رئات الفئران ، ولقاحات كوكس Cox الذي استعمل كوسط للزراعة بيضة الدجاجة المحضونة لمدة عشرة أيام ، هذه اللقاحات المستعملة على نطاق واسع قضت قضاء تاماً على الوفاة بخلال الحرب العالمية الثانية . والكفاح ضد القمل وهو عامل ناقل اكتشفه ش . نيكول (1909) ، قد حُسّن كثيراً باستعمال المبيدات الحشرية الجديدة (ومنها مسحوق د . د . ت والذي حضره لأول مرة ، سنة 1903 ، زيدلر Zeidler والتي اكتشف الكيميائي السويسري مولر Muller خصائصه كمبيد للحشرات سنة 1942) المطبقة على الأشخاص المعرضين .

و ضد الطاعون شاع استعمال اللقاحات ذات الفيروس المخفف (فيروس لقاح جيرارد ورويك ، 1934) ، ولقاحات العصيات الميتة بالحرارة أو بواسطة الفورمول (كالمت وبورل ، 1895 ؛ أفكين ، 1906 ؛ لوموانيك وپونس Pons ، 1932) ، بفعالية كبيرة .

و ضد الشهاق أو السعال الديكي ، يبقى المصل العالي المناعة المحضر بواسطة مصل من اشخاص ملقحين ، مستعملاً بشكل شائع لدى الرضع (كبدريك ، 1936 ؛ مك غينس ، 1937 ؛ كوهن ولاين 1939 ؛ شينيلوم وبولونفا ، 1944 ؛ دوبريه ، 1949) . ولكن اعمال ليسلي وغاردنر (1931) حول سمات ومختلف مراحل المولدات المضادة لعصية بورديه - جنغو (1907) Bordet-Gengo قد أتاح صنع لقاح ضد الشهاق ، مصنوع من زراعات ميتة بواسطة الفورمول ،

يتيح تطبيقها حماية الاولاد الصغار المهددين بمضاعفات خطيرة .

أما التلقيح ضد الدفتيريا والتيتانوس فقد اتبع طريقاً آخر ، هو طريق تغيير السموم المذوبة بعد ابطال سميتها مع الحفاظ على قدرتها الالاقاحية (ج . رامون) .

بين ج . رامون سنة 1923 ان سمّاً دفتيرياً ، مضافاً إليه الفورمول ضمن بعض الشروط ، يحتفظ تماماً بقدرته على امتناع الانسان والحيوان دون احدثات أي ضرر سمي . واقترح لهذا المستحضر الجديد اسم « انتاتوكسين » . والصراع ضد الدفتيريا والتيتانوس لقي ، بفضل هذا الاكتشاف نجاحاً ملحوظاً في العالم اجمع .

وظهر الفورمول كعامل ممتاز في تخفيف حدة الامراض ، بل وأيضاً في تخفيف حدة الفيروسات بالذات ، وهكذا تم تحضير عدة انماط من الفيروسات المشلولة النشاط ، وخاصة فيروس شلل الاطفال (ج . سالك ، 1954 ؛ پ . ليين ، 1956) . ان اللقاح المضاد لشلل الاطفال يستعمل اليوم على مدى واسع ويعطي أملاً كبيراً . فضلاً عن ذلك اقترح هـ . كوبروسكي وآ . سابين اسلوباً آخر في التلقيح ضد شلل الاطفال يقوم على زرع فيروس حي مخفف .

III - الاستطباب بالمضادات الحيوية

تثير الكلمة قدرة جديدة من قدرات الانسان وهويكافح الاويشة المولدة للامراض . فمنذ 1877 اكتشف باستور وجوربت ان التنافض بين البكتيريا يمكن أن يظهر في اجسام الحيوانات واصاف باستور : « ربما يتيح هذه الوقائع آمالاً كبيرة جداً من الناحية الاستطبابية » .

في سنة 1889 استعمل فيليمان كلمة مضاد حيوي ، التي اشتهرت والتي تعرف بالظاهرة التالية : « عندما يتحد جسمان حيان بذات الوقت ، ويمارس احدهما على الآخر أثراً تحطيمياً فوق جزء واسع نوعاً ما من الآخر ، عندها نقول يوجد تضاد حيوي » . ومن جهة أخرى بين علماء البكتيريا في مدرسة باستور ، وخاصة وينوغرادسكي ، الذين عكفوا على دراسة البكتيريا الزراعية ، ان بعض الخمائر تمنع في التربة نمو البكتيريا .

في سنة 1929 لاحظ الكسندر فليمنج ان عفناً يشبه بينيسيليوم نوتاتوم ، يمنع في المختبر نمو المكورات المسماة ستافيلوكوك ، وكذلك الستربتوكوك ، كما يمنع نمو عصية الدفتيريا ، وبكتيريا مرض الفحم . ولاحظ فيما بعد ان الوسط الذي تنمو فيه هذه الزراعات يتسم بذات الصفة القاتلة للبكتيريا . وثبتت من ان سائل الزراعة ليس ساماً بالنسبة إلى الفئران (وذلك بعد زرعها داخل الصفاق أو غشاء الكرش) ولا هو سام بالنسبة إلى الانسان ، بعد تطبيقه موضعياً .

وتبنى لهذه المادة اسم بنيسلين وتأكد انها تميت في المختبر عدداً كبيراً من البكتيريا دون أن تؤذي الكريات البيضاء (1931 - 1932) ؛ ولكنه لم يوسع أكثر ، في ذلك الحين ، استقصاءاته فيما خص هذا النوع من البنسلين الاول الذي كلف اعداده جهوداً كبيرة .

في سنة 1939 اكتشف رينه دويوس المفعول المضادي الحيوي لجسيم ميكروبي أرضي هو

« باسيلوس بريفييس » ضد بكتيريا غرام + . وفي الفترة 1940 - 1942 اكتشف التيروتريسين المكون من مضادين حيويين هما غراميسيدين وتيروسيدين . وهذا التيروتريسين له نشاط كبير ولكنه سام فلا يمكن استخدامه الأسطحياً .

في سنة 1939 انكب فريق من الباحثين في مختبر علم الأمراض في أكسفورد ، بقيادة هورد فلوري وارنست بوريس شين ، من جديد على مسألة البنسلين ، وتوصل إلى الحصول عليه نقياً . وجرت أول تجربة على الإنسان السليم في 27 كانون الثاني سنة 1941 ؛ وبعدها استعمل البنسلين على ستة مرضى ابتداءً من الشهر التالي . وبعد ذلك وبفضل العديد من الانجازات في الصناعة سار البنسلين على طريقه المظفرة .

وتأثيره على المكورات ذات غرام إيجابي غير رأساً على عقب معالجة المكورات المسماة ستافيلوكوكسي وسترپتوكوكسي وبنموكوكسي (مكورات عشودية) . وأتاح تأثيره وقاية فعالة من الحمى القرمزية ومن الخناق ، ومن التكتسات الروماتيزمية المفصلية الحادة ومن التهاب شغاف القلب البطني . وساعد تأثيره على مكورتين من غرام سلبي : مكورة سحائية ومكورة سيلانية ، على الشفاء بسهولة من امراض السحايا ومن الامراض في النخاع الشوكي كما ساعد على مكافحة التعقية بفعالية . وأثره الرائع على مسببات السفلس وعلى اليبان (داء جلدي) غير كلياً انتشار وتطور وخطورة هذين المرضين ، وأتاح الأمل بالقضاء عليهما . وفي الاصابات الغنغرينية فان مفعوله ايضاً ملحوظ وشاف ، وكذلك ضد الدفتيريا .

ورغم كل الاكتشافات اللاحقة يبقى البنسلين المضاد الحيوي الرئيسي الذي يتيح استعماله الشفاء كل يوم كما يتيح معالجة حالات ميؤوس منها . وعدم سمية البنسلين ، التي شغلت في السابق فليمنغ ، تأكدت بتجربة عالمية ضخمة بامتناء بعض مشاكل تتعلق بالحساسية بصورة استثنائية ، وهذه الاستثناءات لا تكذب عدم السمية المذكورة . ان اكتشاف الستربتوميسين كان مكافأة لجهود خمس سنوات من البحوث المنهجية قام بها من . آ . واكمان وفريقه ، حين قدم ، لأول مرة في تاريخ الاستطباب ، سلاحاً خصوصياً فعالاً ضد عصية السل .

عند دراسة الاجسام الميكروبية في التربة القادرة على تدمير العديد من الميكروبات التي تنصب فيها ، توصل واكمان إلى العزل في زراعات « اكينوميسي غريزوس » مادة كابحة لنمو عصية السل فمهاها سترپتوميسين (كانون الثاني 1944) .

ولأول مرة التجأ الاطباء إليها بعد عجزهم ضد السل . وكانت النتائج الاكثر اشارة قد حصلت في الاشكال الاكثر خطورة أي في حالات السل الحادة وخاصة في التهاب السحايا السلي الذي لم تشف منه أية حالة . وبالمقابل بدا الستربتوميسين اقل فعالية بشكل عام من البنسلين بالنسبة إلى بعض الميكروبات الشائعة ، ولكنه يصد ميكروبات الخناق أو السعال الديكي ، والمكورات الكساحية . وهو اكثر سمية من البنسلين ولذا يستعمل المضادين في أغلب الاحيان بأن واحد . وهناك واقع مهم ذو فائدة بيولوجية كبيرة وذو مدى لا جدال فيه ، وهو التأكد ان بعض الجراثيم قد تصبح مقاومة لواحد أو أكثر من المضادات الحيوية اثناء العلاج الطويل نوعاً ما . وان هذه الاشكال

المقاومة قادرة على امراض الانسان الصحيح . من هنا ، من جهة بذل الجهود للاكثار من المضادات ثم تحقيق الاستطباب المركب الذي يمنع ظهور المقاومة من جهة أخرى ، ولكن الفشل مع الاسف قد يحدث احياناً .

إن انتشار بعض الاعراق الميكروبية المقاومة (مثل الستافيلوكوك ، وربما الفونوكوك ، أو السيلان) يشكل في النهاية مشكلة صعبة في مجال الصحة . ان بعض الامراض تبقى دائماً حساسة (سبكتروميت ، سبكتروك ، بنموكوك) . فضلاً عن ذلك ان الاثر التخريبي للمضادات على المجموع المعوي لا يخلو من اضرار .

وبعد البنسلين والستربتوميسين تم اكتشاف العديد من المضادات الحيوية .

لقد تم عزل الكلورامفينيكول سنة 1947 من قبل ب . ر . بوركهولدر انطلافاً من سبكتروميسي فترولا ، وهو اليوم يصنع بالتركيب ، وهو فعال ضد العديد من الجراثيم وخاصة ضد عصيات التيفويد وشبه التيفويد . وقد غير المسار العيادي والتطوري لهذه الامراض . وهو فعال أيضاً ضد عصيات الكولون ، وضد التيفوس الكمخي وضد العديد من الجراثيم الاخرى .

وتم اكتشاف الاوربوميسين سنة 1948 (ب . م . دوغار) انطلافاً من سبكتروميسي اوريوفاسين .

وتم اكتشاف التراميسين سنة 1950 انطلافاً من سبكتروميسي ريموزوس بفضل فريق من الباحثين يعملون تحت ادارة آ . ك . فينلي . وهذان المضادان لهما نطاق عمل واسع جداً تجاه العديد من الجراثيم وهما فعالان بالاختذ عن طريق الفم .

في سنة 1953 حصل بوتمان وهندريكس وولش ، انطلافاً من زراعة السبكتروميسي البوجيمر على التتراسكلين الذي يشبه نطاق فعله نطاق عمل الاوربوميسين والتراميسين . وانطلافاً من زراعات السبكتروميسي سفير ويدي تم اكتشاف الكاتوميسين الناشط بشكل خاص ضد مكورات ذات غرام + . وتم الحصول على النيوميسين الذي اكتشفه واكسمان ولوشوفاليه سنة 1949 انطلافاً من زراعة سبكتروميسي فراديا ، ومفعوله ضد البكتيريا يشبه كثيراً مفعول السبكتروميسين : وهو ناشط أيضاً ضد العديد من الجراثيم الاخرى ، ولكن سميته تحد من استعماله (الاصابة بالكلبي) وهو يستعمل موضعياً من الخارج في امراض الجلد والتهاب الانف والحنجرة ، والسينوزيت ومفاصل العظام .

وتأتي أنواع البوليمكسين من عرق باسيلوس بوليميكسا (ف . ج . ستانلي ، 1947) ؛ وهي ناشطة ضد ب . بروسيانيك في بعض الامراض البولية والمعوية والسحابة ؛ ولكنها سامة بالنسبة إلى الكلية . أما الكوليميسين المكتشف سنة 1950 من قبل ياسنوكوياما فيأتي من زراعة باسيلوس كولستينوس . وهو فعال ضد العصيات المعوية والكلبية .

وتم عزل الفونوجيسيدين (الفطري) سنة 1950 من قبل هازن ويراون انطلافاً من السبكتروميسي نورسي ، وهو مضاد للفطور يعطى عن طريق الفم وبالدهن الخارجي ، كما يعطى

ضد التعفنات التي تكاثرت ، وازداد خطرها بفعل تعميم استعمال المضادات الحيوية ضد البكتيريا بشكل واسع .

ولم ينته بعد هذا المخزون الذي يتزايد تزويده كل يوم ، من اجل مكافحة المروك المقاومة . واذا كان استعمال هذه المضادات قد يساء تطبيقه أحياناً ، فيجب ان لا ننسى فضائله العجيبة الاستطبابية ، الفعالة كل يوم ، بحيث يعتبر من امجاد عصرنا .

وقد نعرّ يوماً على مواد جديدة ذات خصائص مضادة للبكتيريا ، مستخرجة من سلسلة كاملة من ممثلات المملكة النباتية . وحتى وقتنا الحاضر لعبت العفونات دوراً رئيسياً ، ولكن التضاد الحيوي وهو تطبيق استطبابي مذهش ، لمّا يقلّ بعد كلمته الأخيرة .

IV - الاستطباب الكيميائي

لقد حققت الكيمياء ، بالنسبة إلى الاستطباب ضد الأوبئة تقدماً ملحوظاً يوازي ما حقته البيولوجيا . فمع تحقيق تركيب المواد ذات المنشأ البكتيري والفطري ، وهي أنواع من المضادات الاصطناعية ذات القيمة العالية ، غيرت الكيمياء الادوية شبه المعدنية أو المعدنية المنقولة الينا بالتراث . وأخيراً استمرت في خلق أدوية مضادة للأوبئة جديدة بصورة كاملة ، وذات قيمة لا تقدر (راجع أيضاً دراسة آ . ايهد ، الفقرة VI ، الفصل XI من القسم الثاني) .

من بين الادوية الكيميائية التقليدية التي غيرتها الكيمياء يجب أن نذكر أولاً الزرنيخ . اذ بناءً على ايعاز من اهرليك ، صنعت أدوية ارسينوزول (سالفوسان 1909 ، نيو سالفوسان 1912) ، سلاح اعتبر يومئذٍ ملحوظاً لمقاومة السفلس ، ثم انيل ارسينات الصوديوم ضد الطفيليات المثقبات .

إن الأثر الاستطبابي للزرنيخ في مقاومة السفلس ، قد دعم . فيما بعد باستعمال البيسموت (ساذيراك وليفاديتي ، فورنيه وغينيوت 1921) . في سنة 1915 ، جاء الانتيموان القديم لينقّي تجديداً مشابهاً واستعمل يومئذٍ بنجاح في معالجة الليشمانيز [طفيلي أحادي الخلية] ولمعالجة تريانوموميز [أمراض جلدية] (دي كريستينو وكارونيا) . في سنة 1923 بين بلومر المفاعيل الرائعة للميود حول جحوظ العين .

إن الأدوية الجديدة التي ركبها العلم الكيميائي ، تسببت بنهضة صناعية صيدلانية ذات أهمية عالمية بالنسبة إلى التطور والفعالية التي لا تحتاج إلى تركيز . وفي الوقت الحاضر يوجد في المختبرات بشكل احتياطي سلسلة من الاجسام الجديدة الكثيرة العدد ، والمكتشفة بوتيرة سريعة ، لا يمكن معها دراستها تجريبياً (من ناحية سميتها وفعاليتها) ، والتي ربما تعطي في الغد منافع كبيرة . ان السولفاמיד قد فتحت سلسلة هذه الاكتشافات . وقد ولدت هذه المواد وفقاً لتنبؤات اهرليك ، من فكرة الدور الذي يمكن أن تلعبه ضد الأوبئة بعض المواد الملونة .

من أجل إعداد ملون جديد قام جلمو سنة 1908 بتركيب مادة سولفانيلاميد وفي سنة 1913 درس ايسنبرغ المفعول القاتل للبكتيريا في مختلف الملونات التي تحوي مجمعة السولفوناميد.

ودوماك هو الأول الذي قرر سنة 1935 القيمة المضادة للأوبئة الموجودة في أول سولفاميد طبق على مرض بشري ، وهو البروتوزويل ، المركب فيما بعد من قبل جيرارد تحت اسم روبيازول . وفي مختبر فورنو سرعان ما بينت مدام تريفيويل مع د . بوفت وف . نيتي ان النشاط المضاد للميكروبات مرتبط بقسم فقط من جزيئه (بارا - أمينو - فيل - سولفاميد) . وتم اعداد اجسام جديدة يومئذ انطلاقاً من نواة سولفاميد بدا نشاطها واسلوب امتصاصها ومدة عملها متغيرة وفقاً للمعادلة الكيميائية . الا انها تؤدي دائماً خدمات كبرى في معالجة العديد من الامراض الوبائية خاصة الاصابات التي تصيب السحاي بالخمج أو الاثنان وكذلك الرئة والسلان وعصيات الامعاء . ان الاستطباب بالمضادات الانتانية استطاع عندئذ أن يحل محل أو أن يشترك مع الادوية الكيميائية والبيولوجية ، بحسب الجرثومة المسؤولة وبحسب التربة . فضلاً عن ذلك وبالنسبة إلى السولفاميد ، كما بالنسبة إلى المضادات الحيوية ، أمكت مشاهدة ظاهرات مقاومة بكتيرية ، من الواجب أخذها في الحبان . وهكذا ولدت الكيمياء الطبية المضادة للأوبئة لتحل محل الكيمياء الطبية المناوئة للطفيليات والتي قال بها اهرليك .

رغم تحقيق اكتشاف ديامينو - ديفينيل سولفون أو سولفون الأم ، قد تحقق من قبل فررم وويتمان منذ ما يقارب نصف قرن ، فانه فقط في سنة 1957 اكتشف فورنو وتريفيويل ومعاونهما في فرنسا ، وبوتل في انكلترا ، النشاط المضاد للأوبئة ، في المادة المذكورة ؛ وفي سنة 1943 حول ج . هـ . فاغت في الولايات المتحدة معالجة الجذام ، بادخال السولفون في استطبابه : سيميدون ، ديزولون ، استعمال استعمالاً شائعاً ونجاح . وهناك أدوية أخرى تستعمل ضد الجذام ، مع انها تبدو فعالة ضد عصية السل ومنها : تيزو - ميكاريازون (دوماك ، 1945) ، ايزونيازيد ، سترتوميسين و P.A.S . وبقي الشولموغرا العامل الاكثر فعالية بين كل الادوية المضادة للجذام مستعملاً حتى اليوم .

في سنة 1943-1944 دخلت الكيمياء الاستطابية في مجال مكافحة السل عن طريق الأدوية الجديدة التي سوف تنضاف إلى السترتوميسين . اكتشف برنهم من شيكاغو ان الساليسيلات وبنازوات السودا تزيد من استهلاك الاوكسجين في زراعة العصيات السلية . وهكذا توصل إلى البحث عن مواد كيميائية ، تستطيع ، مع بقائها متممة إلى نفس الفئة ، صد أو كبح استهلاك الاوكسجين وبالتالي اعاقا تكاثر العصيات . واكتشف ج . ليهمان ان ادخال مجموعة NH_2 كإضافة يمكن من الحصول على هذه النتيجة .

ويمتلك حامض بارا - امينوساليسيليك (P. A. S) مفعولاً واضحاً بكتيرياً . واكد العياديون هذه النتيجة (ليهمان ، انشوثم آخرون) . ان ملح السوديوم في هذا الحامض (B. P. A. S) اذا أعطي عن طريق الفم أو بالحقن في الوريد يبدو فعالاً وبشكل خاص عندما يضاف إلى السترتوميسين من أجل استباق المقاومة ضد السترتوميسين .

ولكن سرعان ما بدا الهيدرازين في الحامض ايزونيكوتين أو ما يسمى ايزونيازيد (I. N. H) ، الذي تم تركيبه صناعياً سنة 1912 من قبل كيميائيين نمساويين هما ماير ونالي ، والذي اكتشف

نشاطه سنة 1950 من قبل أ . غرونبرغ وو . ليوانت ور . ج . شنيتر ، بدأ هذا المقار أفعال دواء ضد المل .

ويمكن اعطاء الـ (I. N. H) بسهولة عن طريق الفم . وهو يحتوي على جزيء صغير ذي انتشار واسع وله تأثير خاص ضد عصية المل ، وتأثيره لا يقتصر على تجميد البكتيريا بل يقتلها ، وأخيراً ليس له إلاسمية بسيطة جداً . هذا الدواء السهل الاستعمال النشط ، ثور معالجة الإصابات بالمل ، سواء استعمل وحيداً ، وهذا ما يجري عادة ، أو استعمل مضافاً إلى الـ P.A.S وإلى الستربتوميسين .

ان الاستطببات الكيميائية قدم لنا بخلال السنوات الأخيرة السيكلوسيرين ، وبصورة خاصة الايتوناميد وفي مجال مكافحة مرض عضال آخر وهو الملاريا ، جاءت المستحضرات التركيبية الكيميائية تحل محل الكينين بشكل واسع ، رغم ان هذا الأخير بقي ممتازاً ضد الاصابات الخبيثة .

وانطلاقاً من نواة هرمية موجودة في السولفاميد وذات مفعول ضد الملاريا تم تركيب البالدورين (كورد ، دافي وروز ، 1945) . وتم اكتشاف النيفاكين والكلوروكين من قبل الكيميائيين الالمان (باير ، 1938) . وهناك مستحضرات أخرى مشتقة من الاكريدن ؛ وأخرى من مشتقات الكينوليك : بلاسموكين ، رودوكين وفلافوكين . ان هذه الادوية المضادة للملاريا تعمل باشكال مختلفة ، فبعضها ينشط ضد مولدات الحيوانات المنغلقة وبعضها الآخر يعمل ضد الغاميت .

إن السمية الضعيفة والفعالية وسهولة الاستعمال في هذه المستحضرات التركيبية قد سهلت إلى حد كبير محاربة الملاريا . ولكن مكافحة الملاريا تتجه أكثر فأكثر نحو المناعة ، ليس الفردية فقط بل الاجتماعية .

هذا الكفاح مشروط بالقضاء على البعوض وتحييده باعتباره ناقلاً للطفيلي : من هنا أهمية بعض النشاطات الرسمية مثل الغاء المياه المستنقعة ، وتقويم التقنية على تغطية مجمعات المياه بطبقة قشرية من البترول أو من التالك ، وخاصة استعمال المبيدات الحشرية التلامسية مثل الـ D. T والـ H. C. H . وبقي الايميتين المستعمل سنة 1912 ضد الامراض الاميبية ، من قبل روجرز Rogers ضرورياً حتى اليوم . ولكن جاءت المضادات الحيوية لحسن الحظ تدخل مثل الاوربوميسين والتتراميسين . كما ظهرت مستحضرات جديدة .

نذكر بشكل خاص مشتقات اليود من الأوكسي كينولين (ديودوكين) المكتشفة سنة 1915 من قبل انتونين مورتون ، وسميت في فرنسا ميكزويد أو ريكسيود . ودرس الكونيسين وهو قلوي مشتق من هولا هينا فلوريوندا ، الذي اكتشفه شوفالييه سنة 1935 ، من قبل أطباء في داكار (دوريو وصديقي ، الخ ، 1932-1946) . وعدا عن ستوفارسول (مارشو ، 1923) هناك الآن مركب جديد من الزرنيخ اسمه : مزدوج (ب- ارسينوفيل امينو) - 1,2 ايتام - ملح سوديك أو 4763RP ، درسه كوزار وج . شنيدر عيادياً ، ودرسه ر . دوبرجريبياً . وضد مرض التريبان (مرض جلدي) والكلازار تم تحقيق تقدم كبير باكتشاف المفعول الاستطبابي لبعض المستحضرات من مجموعة

دياميدين العطرية : لوميدين اكتشفه ايونس (1933) ، ودرسه فيما بعد أدلر (1939) . ولم يكن يوجد أي دواء ضد داء الخيطيات البشرية ، عندما اكتشف هيويت Hewitt ومعاونوه سنة 1947 ، نشاطاً مشتقاً من البيبي رازين وهو : « دي اثيل - كارياميل - 1 - ميتيل - 4 - بيرازين » .

إن الكيمياء الاستطابية - عدا عن المكافحة الأساسية التي تتيحها اليوم ضد الأمراض الوراثية والطفيلية - قد حققت بعض التقدم في مجال الأدوية المنظمة لخفقان القلب ، والأدوية المدرة للبول .

الأدوية الملطفة لخفقان القلب - بخلال العشرين سنة الأخيرة تغيرت وسائل وأساليب مراقبة اضطراب نبض القلب . وبقي الديجيتالين الدواء ذا الأهمية الاستثنائية ، ولكن فعالية املاح الكينيدين ، التي دخلت في مجال الاستطاب على يد و . فري سنة 1918 لم تعد بحاجة لظهور فضلها خاصة ضد اضطراب نبض القلب الكامل .

وشاع استعمال اميدبروكاينيك لمعالجة عثرات القلب البطينية ومعالجة أزمات ارتفاع الخفقان البطيني (ل . ك . مارك ، ي . برلين ، ه . كايدين ، روفنستين ، سنيل وب . برودي ، 1950) . واستخدم ايزوبريل نورادريثالين (ناتانسان ومولر ، 1952) الذي يرفع تحفيز القلب ، في معالجة الصدمات الاذينية البطينية ، وحل فيها محل الايفيدرين . ونصح بلت ، واسرمان وبرودي سنة 1955 باستعمال لكتات السوديوم لزيادة نبضات البطين بشكل أوتوماتيكي وهو يستعمل ضد حوادث ادامس - ستوكس .

واستعمال هذه المستحضرات القادرة على تضيق النبضات التنجيفية أو السيطرة على الاضطرابات في النبض لا يمكن ان يتم الا تحت المراقبة الدقيقة العيادية مع التسجيل الكهربائي القلبي ، وتحت الرقابة البيولوجية أحياناً .

مدرات البول - إن مشتقات كزانتيك مثل الثيوبورومين والثيوفيلين تبقى مدرات للبول شائعة الاستعمال في حالات القصور القلبي مع وجود السيلان السورمي . ولكن المفعول الإداري لمستحضرات الزئبق ما تزال قيمته ترتفع في حين تم حديثاً اكتشاف واستعمال مدرات أخرى فعالة جداً .

وتم استعمال المركبات العضوية الزئبقية الغنية بالزئبق أكثر من المركبات شبه المعدنية باعتبارها أقل سمية (برون ، برنهيم ، غرومكي ، 1913 ، پ . سالكس Salx ور . هيلينغ ، 1920) . إن القصور القلبي مع الأوديمة (الاستسقاء) هو المؤشر الرئيسي . وزرق هذه الاملاح يتسبب بغزارة من عدة لترات مع ابعاد مادة كلورية وصودية ، واعطاؤها غير منصوح به في كل حالات أمراض الكلية .

في سنة 1950 اكتشف روبن وكلاب الاستيازولاميد ، الذي يتمتع بخصوصية أساسية انه كايح للكربواينيدراز . وهذا الكيخ يؤدي إلى اخراج متزايد للسوديوم والماء ويزيد في الادار البولي القلوي . ويستعمل هذا المدر ضد القصور القلبي مع الأوديمة وضد الاصابة القلبية الرئوية المزمنة .

إن الكلوروثيازيد الذي ركب سنة 1956 من قبل نوفالو وسبراغ ، والايدروكلوروثيازيد ، المركب سنة 1959 من قبل آ . ل . كورنيز ، والايدروفلومي ثيازيد ، المركب من قبل فورد ونيكل سنة 1959 هي مدرات للبول قوية قليلة السمية ، تستعمل في كل أنماط الاوديما ، ولكنها تتطلب مراقبة واعية بحيث يمكن اكتشاف ومعالجة الاضطرابات التحليلية المحتملة .

٧ - الاستطباب الفيزيولوجي

الهورمونات - إن المعالجة بالهورمونات تنسج بدون توقف وتقدم كل يوم انجازات جديدة . استخدم الطبيب الهرموني منذ سنوات ضد الميكسديم (الخَرْبُ أو استسقاء لحمي ، مرض جلدي ناشئ عن قصور الغدة الدرقية) ، والسكري ومرض اديسون والقصورات الاخرى الصماءية . ويكتمل هذا الطبيب يوماً بعد يوم . وتولد أساليب جديدة لاعطائه مثل : انسولين ذو مفعول متأخر ، الزرع الهرموني (ديسلي وباركس ، 1937 ؛ يشوب ، 1938 ؛ ثورن وفيرور ، 1940) ، سائل بلوري هرموني (ميشر ، ماير ، غاش ، 1944) ومفعولها وسط بين مفاعيل المحاليل الزيتية والمحاليل المزروعة . ان المستحضرات الهرمونية المعروفة سابقاً هي أفضل تعاطياً .

ومن ذلك مثلاً الانسولين ، المكيف بمرونة مع الاحتياجات المتغيرة في الجسم . ان تعاطي الانسولين حالياً يحمل على معالجة سكري الطفل والشاب وكأنه مرض صمائي (مان وماغات Magath ، 1923 ؛ سوسكين وليفين ، 1940 ؛ غست ، 1947 - 1955) .

وهو يتح للشاب المصاب بالسكري أن يعيش حياة شبه عادية بشرط ان لا تظهر فيما بعد اشتراكات انهيارية . وفي مواجهة السكري السمني الذي ظهر بعد أربعين سنة ، اذا بقي الانسولين ضمن بعض الشروط سلاحاً لا بديل له ، فانا نمتلك اليوم استطباباً جديداً . فمنذ التثيت العيادي الذي قام به جانبون سنة 1942 وهو يوافق حالات نقص السكري (هيسوغليسميك) عند المصابين بالتيفوئيد والمعالجين بالسولفاميد مع التيازول ، وأعمال لوياتير التجريبية سنة 1942 ، والمحاولات الاولى العيادية التي قام بها فرانك وفوكس سنة 1955 ، وبرترام سنة 1955 ، اكتسب السولفاميد المنقص للسكر مركزاً ثابتاً في استطباب السكري . ثم ظهرت أدوية منقصة للسكر جديدة ، مشتقة من الغواندين ، وبذات مثيرة للاهتمام ، شرط أن تكون جميعاً مخصصة لبعض أنواع السكري المسمى بالسكري الحساس ضد السولفاميد .

وتم استعمال هورمونات معزولة أو مركبة بشكل شائع مثل الغونادوتروفين ، والكوربيونيك ، والسيريك ، وهورمونات غونادوتروب ، وبرولاكتين ، والتيريوستيمولين والايستوستين ، والبريسين أو مستخرج ما وراء النخامية ، والاوسترايول والاوستروجين التركيبي والبروجستيرون والتستوستيرون إلى آخره . وفي المستقبل ربما استعمل هورمون سوماتوتروب فعال .

كل هذه الهورمونات النقية الحاصلة بالاستخراج أو بالتركيب تقدم منافع كبيرة . فهي تصحح اضطرابات النمو ، وتقوم الضمور الولادي (الهيبوتروفي) ، وتقضي بصورة مؤكدة على اعراض الزرب النفة ، وتمارس أثراً حسناً ضد مجموعة الاعراض الدالة على نقص أو زيادة الهورمونات

الانثوية ، وتوقف التزيف المهبلي ، وتجمد بصورة مؤقتة تغاقم السرطان الثدي وفي البروستات ؛ ولكن بسبب نشاطها الكبير فهي قد تؤدي أيضاً إلى كوارث إذا لم تطبق بعوي زائد .

وإذا كان التقدم الحالي في معرفة هورمونات الدرقية ، لم يغير بشكل محسوس معالجة الميكسوديم ، فإن معالجة حالات الضمور أو الانتفاخ الدرقي لم تبق على حالها . ان المعالجة بالجراحة كاستئصال الغدة الدرقية جزئياً أو كلياً ليس العلاج الوحيد في الحالات الخطرة من مرض بازيدو . ونحن نمتلك إضافة إلى البود المشع معالجة رئيسية للمرض . ولكن اكتشاف المضادات ضد الدرقية التركيبية جاء أيضاً يضيف إلى معالجة تضخم الدرقية إضافة مهمة .

ولد هذا الاكتشاف من ملاحظات شسني ومارين سنة 1928 ومن ملاحظات ف . بلوم (1938) حول التضخم البالغ في الجسم الدرقي مع نقص في الافراز ، لدى الحيوانات التي تغذى فقط بالملقوف والصلبيات . في سنة 1943 حصل أ . ب . استود على النتائج الأولى لمعالجة مرض بازيدو بمواد ذات مفعول مضاد للدرقية مثل الثيوري والثيوراسيل . وبعد ذلك استعاض عن هذه المواد ، في الاستطباب ، بمواد أخرى مضادة للدرقية أقل سمية بكثير وكانت نتائجها الاستطبابية ممتازة في أغلب الاحيان .

إن التقدم الاكثر بروزاً في مجال الاستطباب الهورموني هو التقدم الحاصل بفضل الافراز القشري فوق الكلية (راجع الفقرة IV من الفصل السابق) . في سنة 1937 بين م . ستيجروت . رايششتاين التأثير الحاسم لمادة ديزوكسيكورتيكوستيرون على أيض الماء والملح وتأثيرها الاستطبابي في مرض اديسون . وفي 13 نيسان 1949 قدم هنك وكندال وهولي وسلوكومب للمؤتمر الدولي للأمراض الروماتيزمية ، ملاحظات ستة عشر مريضاً مصابين بداء المفاصل المستعصي والمتطور ، والذين زالت اشارات المرض عنهم في عدة أيام بتأثير من الزرق العضلي لثة مليغرام من الكورتيزون في اليوم . وتم الحصول على نفس النتيجة على أثر زرق مادة ادينوكورتيكوتروفين النخامي (A. C. T. H) التي تحفز مباشرة افراز الكورتيزون بواسطة الغدة القشرية فوق الكلية .

وقد لاحظ هؤلاء الباحثون ان التهاب المفاصل العضال المتفاقم، وهو مرض ميؤوس منه نتيجة عضالته ، وعدم قابليته للشفاء ، يمكن أن يزول تماماً بفعل الحمل أو بفعل الإصابة باليرقان . وتميز هنك بأنه أكد وجوب العودة إلى نشأة هذا الشفاء ، وانه بسبب تدخل عامل بيوكيميائي ، ذي طبيعة هورمونية ، مشترك بين الجنسين ، ومن شأنه أن يؤثر على تطور الروماتيزم . وظن ان هذا العامل هو جسم بالحوامض الصفراوية وانه ينتمي بدون شك إلى افرازات الغدة فوق الكلية ، وبناءً على نصائح كندال خطرت له فكرة استعمال الكورتيزون في معالجة التهاب المفاصل الحاد المتفاقم .

أضيف إلى الكورتيزون الهيدروكورتيزون ، مركب F لكنندال ، وهو يمثل الهرمون الفيزيولوجي . وانطلاقاً من هذا الهرمون ، وبالتركيب ، أمكن الحصول على مركبات مختلفة ناشطة جداً .

وأهم هذه الاجسام هي الـ 9 ألفا فلورو- هيدروكورتيزون (مركب F.F ، فريد وسابو

(1955) ؛ ثم الدلتا كورتيزون أو بريدنيزون ، أو ميتا - كورتاندراسين ، الأكثر حيوية من الهيدروكورتيزون ، والخالي من عامل حبس الماء والملح وخسارة البوتاسيوم (وهو يحل اليوم محل الكورتيزون في معظم حالات وصفه) ؛ والدلتا هيدروكورتيزون (برنيسولون ، أو ميتا كورتاندرالون) ، وهو فعال كالـ دلتا كورتيزون ؛ والدلتا 1 فلورو هيدروكورتيزون (ميلر ، 1955) - وهو لا يختلف عن المركب F.F. إلا بإضافة اتصال مزدوج - ما يزال حتى الآن تحت الدرس ، والذي تبدو آثاره المضادة للالتهاب أقوى من مفاعيل الهيدروكورتيزون ؛ و 9a فلور و 16a ميتل دلتا - هيدروكورتيزون أو ديكسا ميتازون ، الذي شاع استعماله .

وإذا كان اكتشاف هتك وكندال يقدم علاجاً لمرض الروماتيزم بشكل باهر ، فسرعان ما تبين أن هذا الدواء فعال أيضاً في أمراض كثيرة أخرى : فهو يوضح ولادة بقيت غامضة لمدة طويلة ، لسلسلة من الأمراض ، كما أتاح تجميع امراض الكولاجين [المتتجة للهلألم] - ان الكورتيزون والدلتا كورتيزون و A. C. T. H. ، ليست فقط هورمونات بروتيدية غلوسيدية تمارس أثراً هدمياً على البروتيدات ، وأثراً كالذي يحدثه النيوغليكوجينيز على حساب البروتيدات ، ويسهل تكديس الشحوم ، وحبس الماء والصوديوم وضمياع البوتاسيوم ؛ بل إنها جميعاً تقلص حجم الاجهزة اللماوية مما يسبب نقصاً في اللف ونقصاً في الايوزين ، وتمارس أثراً مضاداً للحساسية ، وتكبح بعض الانزيمات ، وتمحور المفاعيل الالتهابية للكولاجين . وهكذا نفهم تعددية عملها الاستطبابي .

حتى سنة 1950 لم يكن متوفراً من أجل معالجة مرض اديسون إلا العلاج - ديزوكسي كورتيكوستيرون ؛ وبقي شفاء المرض ضعيفاً . أما اليوم فقد أصبح الكورتيزون محور العلاج : فبرشامتان أو ثلاث من الهيدروكورتيزون كل يوم تكفي لاعطاء كل مظاهر الشفاء ، دون أن يكون ضرورياً اتباع نظام غذائي غني بالملح ، إنما مع مساعدة خفيفة ومتقطعة من ديزوكسي كورتيكوستيرون . ان الكورتيزون بكميات مكثفة يتنزع من برائن الموت المرضى ضحايا القصور فوق الكلوي الحاد ، الذي يأتي بعد مرض اديسون أو ما يسمى بالاولي اثناء حالة وبائية خطيرة أو عل أثر تسمم الدم . ويتيح الكورتيزون بقاء المريض في حالة القصور فوق الكلوي اثناء أو بعد الاستئصال لما فوق الكلية المزدوج . ويمارس الكورتيزون أثراً جيداً بخلال نقص في النشاط ما فوق الكلوي الولادي (ويلكنس ، 1950) .

وفوائد هذا الاستطباب الهورموني قد تأكدت أيضاً في بعض حالات التهاب الفقرات ، وفي الروماتيزم الفقري ، وفي الروماتيزم المفصلي الحاد وفي مرض « ستيل » وفي القراض (مرض جلدي) المنتشر ، وفي حالات تيبس الجلد وتقبض العضل وفي التهاب المفاصل العقدي ، وباختصار في معظم امراض الكولاجين . ويشكل الهيدروكورتيزون المعطى بشكل أبر في الشريان أو في المفاصل علاجاً مسكناً لبعض التهابات المفاصل .

إن الأثر المضاد للحساسية الذي يحدثه الهورمون يفسر فعاليته في مرض الربو والشري أو الطفح الجلدي ، والاستقاء أو اوديمة تنكي . وضد أمراض الدم وتكاثر الكريضات ، والاورام في لب العظم وورم الكريضات ، يمارس الهورمون أثراً كابحاً لا يهمل . وهو فعال جداً في

حالات فقر الدم المكتسبة وفي بعض حالات احمرار الجلد التسممية التخثرية . ويمارس أثراً حسناً في حالات التهاب الكلية الدهني الخالص واثاء بعض حالات تليف الكبد واليرقان الوبائي الخطير . ويقدم الهورمون مساعدة مهمة لمعالجة التهاب شغاف القلب المستعصي . وهو مفيد في حالة السل الالتهابي الحاد ، مثل السل الجلدي المقرون بالحك ، الحاد ، والجُناب (ذات العنقب) ، والتهاب السحايا السلي ، ويقدم عوناً في المعالجات بالمضادات الحيوية . وشرع حتى في تطبيقه بنجاح ضد السل الرئوي المقرح الموضعي ، المستعصي ، شرط قرنه بالمضادات الحيوية المضادة للسل ، وإفساح المجال أمام المضادات لكي تفعل فعلها . واعطاء الهورمون عن طريق ، أما الـ A. C. T. H. وأما هيميموكسينات الهيدروكورتيزون والصوديوم ، يتيح انقاذ مرضى ميويتين بعسر التنفس ، كانوا في الماضي مرشحين لموت سريع . ان الاستعمال الموضعي للكورتيزون أو للهيدروكورتيزون يبدو في أغلب الاحيان مفيداً في امراض الجلد ، بشكل مرهم (پوماد) ، وفي امراض العين بشكل قطرات .

ويجب أن لا ننسى ان استخدام هذه المستحضرات الهورمونية أظهر ازعاجات ومخاطر (تفاقم في الحساسية القشرية ، سوء أو ظهور حالات مرضية ، اضطرابات هضمية نفوية ، حوادث تخثر ابيض ، صدمات ، اضطرابات نفسانية ، ضمور في الغدة فوق الكلية) وان الافراط فيه تسبب احياناً بكميات تعزى إلى اعطائه بشكل غير حذر أو وفقاً لتعليمات مفرطة .

إن الاستطباب بالهورمونات القشرية فوق الكلوية يجب أن يحتفظ به للحالات الخطرة حيث لا يمكن استبداله بغيره ، أو للأمراض ذات الاجل القصير حيث لا يكون الهورمون خطراً ، بسبب قلة المعايير المعطاة . ان هذه الاحتراسات الضرورية يجب التذكير بها ، اذ من المؤكد ان الاستطباب بالهورمونات فوق الكلوية يمثل مع البنسلين احد الاكتشافات الرئيسية الحديثة في الطب وفي الاستطباب .

الفيتامينات - نظراً لكثرة وجود الكساح عند الاطفال الرضع لا بد من اعطائهم عوناً فيتامينياً في السنة الاولى من أعمارهم . يستعمل الفيتامين D₂ أو كالسيفيرول (وندوس ، 1927) بمعيار وقائي يتراوح بين 500 و 1000 وحدة في اليوم ؛ أما المعيار العلاجي فيتراوح بين 5 آلاف وعشرة آلاف وحدة في اليوم طيلة عشرة إلى عشرين يوماً على الأقل .

وحدث تقدم بامتدال الوصفة السابقة بمعيار مكثف وحيد من فيتامين D₂ (هرناب ، بيشوف ، 1939) ولكن يجب أن لا ننسى المخاطر المخيفة التي يتعرض لها بسبب المعايير المفرطة في الكالسيفيرول . ويجب أن لا ننسى ان اشعاع الشمس أو الاشعة فوق البنفسجية تتيح للجسم أن يركب الفيتامين D وان المسكن الصحي مع نظام غذائي موسع وياكر ، هو أفضل وافي من الكساح . ان الفيتامين D ما يزال يستعمل مضافاً إلى الاملاح الكلسية ضد الكزاز الحاد ، وضد الكزاز العُضال ، ويستبدل بـ : « ديهيدرو - تاشي - ستيرول » (A.T.10 أو كالكامين) .

واعطاء الثيامين (فيتامين B₁) ، مقروناً بتصحيح النظام الغذائي الفاسد يلعب دوراً أساسياً في معالجة نقص الفيتامين B₁ ولكن الثيامين ، الذي يتدخل في أيض هيدرت الكربون يستعمل بشكل خاص ضد التهاب الاعصاب ؛ والفيتامين B₂ (ريبوفلافين) يستعمل ضد التهاب الشفاه

(مدام راندوان وسيمونه ، 1924 ، غولد برجر) ؛ والفيتامين B₃ (فيتامين P. P. اونيكتوناميد) يستعمل في نقص الايضي (غولد برجر ، 1925-1935 ؛ سايس 1937) ؛ والفيتامين B₄ أو ادينين يستعمل ضد زوال الخلايا البيض ، والفيتامين B₅ أو حامض بنتوجينيك يستعمل لمدواة الشيب ، والفيتامين B₆ أو بيريدوكسين أو ادرمين يستعمل ضد مرض الأشعة ، وبعض اضطرابات الاطفال ذوي الحساسية نتيجة نقص الفيتامين B₆ ، وضد التسمم بالازونيايد .

إن الفيتامين C يشفي من مرض الاسقربوط أو مرض عدم التوازن الغذائي . ولكن نقص الفيتامين C لا يفسر كل شيء عن الاسقربوط : فالتقص في عامل آخر هو P أو عامل الامتصاصية الشعرية يلعب فيه دوراً مهماً ، والفيتامين P يجد فيه أحد مؤشرات الرئيسية .

والفيتامين A أو المضاد ضد النقص في شفافية القرنية ، هو فيتامين يذوب في الشحم مثل الفيتامين D ويعطى غالباً معه أو يعطى بشكل زيت كبد سمك الرافود عندما تظهر دلائل قصور تلحظ لدى الرضع .

والفيتامين K يوصف من حيث المبدأ في كل حالات انخفاض معدل التخثر تحت المعدل الطبيعي الذي يتراوح بين 75 بالالف و 100 بالالف .

فاذا أعطي الفيتامين K بشكل زرقات ورديّة أو عضلية أو عن طريق الفم فانه بخلال 24 إلى 48 ساعة عودة وقت التخثر إلى طبيعته . وهو يوصف بشكل أخص في الامراض الكبدية وفي العمليات الجراحية وفي حالات البرقان المستمر وفي حالات التليف ، واثناء مرض النزيف عند الوليد الجديد . وهناك في أغلب الاحيان فائدة من ضمه إلى الصفراء أو إلى الاملاح الصفراوية .

نقل الدم . عوامل التخثر وعوامل ضد التخثر - ان نقل الدم هو معالجة ذات أهمية حيوية . ولم يكن ممكناً إلا منذ سنة 1900 . وهو تاريخ قرره فيه لاندستينر وجود ملزونات مماثلة وفئات من الدم (راجع الفقرة II الفصل II من القسم الرابع) . وبعض الصعوبات التقنية قد ازيلت بفضل اغوت Agote ولو يسهن Lewisohn وهوسن Hustin ، الذين بينوا سنة 1914-1915 فائدة استعمال سيرات الصودا للحفاظ على عدم تجلط الدم المسحوب .

وفي السنوات الأخيرة مكنت التحسينات في طرق حفظ الدم ، وخاصة تجهيز محلول السيرات اسيد المحتوي على دكتوروز المسمى A. C. D من تخزين الدم زمن استعماله ضمن مهل قد تصل إلى 21 يوماً بعد سحبه . وأخيراً في سنة 1940 ، اكتشف لاندستينر ووينر العامل Rh ففتح فصل التمنيعات المماثلة التي تعقب نقل الدم ، وأتاح فهم أوالية عدد كبير من الحوادث الغامضة حتى ذلك الحين ، ثم استباحها .

إن نقص الدم المفاجيء والخطير بفعل النزيف ، أو الصدمة ، أو الصدمة الجراحية ، أو الحروق هو المؤشر الرئيسي والملح الذي يستوجب اعطاء الدم . ونقل الدم بوصف في حالات الأنيميا الخطيرة وفي حالات نقص التخثر ، وفي الامراض النزيفية نتيجة اضطراب في التجلط . وتتطلب حالات النقص في البروتين نقل الدم وخاصة نقل البلاسما والالبومين . ويجب أن ننسى أن كل نقل للدم يتضمن خطر وقوع حادث قد يكون مميتاً (عدم توافق الدم ، الضغط في الدورة

الدموية ، رفض البلاسما ، امراض منقولة) .

سحب الدم ونقله بآن واحد ، طبقت هذه الطريقة سنة 1946 من قبل ولرستين ووينر ، ودياموند ثم من قبل سبي وس . بوهوت ، وتقوم على سحب كمية كبيرة من الدم (4 إلى 8 لترات من الكبير ، و 500 غرام من الوليد الجديد) ، مع اعطاء كمية معادلة من الدم الطبيعي بذات الوقت . وتوصف هذه العملية في حالتين رئيسيتين حالة مرض فساد الدم عند الوليد الجديد وحالة قصور كليوي يسبب انحباس البول مع انحلال في الدم .

يبقى الدم أفضل عامل لتوقيف النزف ، ولكن يشترط في استعماله بعض الشروط : حالات تولد التليف ، حالة انحلال الليف الحادة ، حالة النزف ، التطبيقات الموضوعية ، نقص الفيتامين K ، مختلف التجزيئات التي تصيب البلاسما .

واستعمال نقل الدم بين الناس قد توضح بخلال الحرب الاخيرة ، ثم توسع استعماله في العمليات الجراحية وفي الحالات الطبية زمن السلم . والحاجة إليه ، وتطوره أكيدان عندما يكون الغد غير مضمون ، ولهذا فهو يتمتع أي نقل الدم بمصادقية فرضته عالمياً مع سلسلة نتائجه الشفائية ، في كل البلدان ، ومع ما يتطلبه تطبيقه من تحفظات ومن حرص قد يكون ثقيلاً . إن الاستطباب بنقل الدم يتمتع بفعالية معترف بها بالاجماع ، وهو يتجاوز النشاط العادي للأطباء الممارسين ، ويتطلب جهداً مباشراً ومدعوماً من الجماعة كلها . وهو يقتضي - لكي يطبق حق التطبيق - مساندة السلطات العامة ، وليس فقط تنظيمياً تقنياً مكلفاً ، بل أيضاً عملاً سيكولوجياً .

في سنة 1923 أنشئ في فرنسا من قبل الاساتذة غوست ، ليفي - سولال وآ . تزانك ، اول مركز لنقل الدم ، أدى في سنة 1928 إلى بناء مؤسسة رابا - دوتش في مورت أو المركز الوطني لنقل الدم والبحوث الدموية . ان مثل هذه المراكز كانت قليلة التطور في فرنسا قبل سنة 1939 ، رغم اجراء بعض عمليات نقل الدم في كل الاراضي الفرنسية . وادت الجهود المشتركة التي بذلها العسكريون والمدنيون في سنة 1940 ، إلى انشاء مؤسسة تقوم بشكل خاص على استعمال الدم المحفوظ ، المعد في الداخل والمرسل إلى مختبرات الجيش . ولكن نقل الدم لم يزدهر إلا بعد « التحرير » ، عندما اهتمت الجيوش الحليفة وبيت فائدة استخدام الدم أو مشتقاته في العديد من الجرحى ، خارج حالات الانيميا الترفية . في سنة 1945- 1946 ثم انشاء مؤسسات لنقل الدم وفقاً لتنظيم إداري دقيق .

والدم الكامل المحفوظ بقي ويبقى السلاح النقلي الامثل . في معظم الحالات يطلب اليه أن يكون ناقلاً للكريات الحمراء التي احتفظت بخصائصها البيولوجية .

إن البلاسما السائلة « المثبتة » بشتى المستحضرات وخاصة بالغلوكونز ، لا تعيش الا بمقدار ، ولذا يترجى استعمالها بسرعة . وهي دائماً عرضة لمفاجآت غير محمودة . والبلاسما المجمدة هي مستحضر ممتاز يجمع بين الاقتصاد والأمان ولكن شروط حفظها تحد من امكانيات تخزينها بحيث تقتصر على قدرة الأجهزة . فضلاً عن ذلك كل تغير في الحرارة يخربه .

وأكثر ما يمكن ضمنه هو البلاسما المليفة ، فهي بالرغم من سعر كلفتها المرتفع ، أفضل

طريقة للحفاظ وللخزن طويل الأمد .
وحتى يومنا هذا لم تنجح أية طريقة لتعقيم البلاسما وعدوى الفيروس الناقل لليرقان المماثل
تبقى خطراً قائماً .

إن مشتقات البلاسما المحصول عليها بواسطة أساليب التكرير ، وهي أساليب ابتكرها
كوهن ، لم تسد في الواقع الآمال الأولى التي علفت على هذه الأساليب منذ عشر سنوات . فهذه
الطرق تقوم على تقنيات صعبة ومكلفة ، تحتجز كمية كبيرة من البلاسما من أجل معالجات
استثنائية . إن الحصول على الألبومين وعلى الغلوبلين ، ومثلاً في الوقت الحاضر الأجزاء
الأكثر استعمالاً ، يعطي النتائج الأكثر اقناعاً

إلا أن الأعمال الأخيرة التي قام بها كوهن أدت إلى وضع طريقة مفيدة تتيح تكسير أو تجزئة
سريعة تؤدي إلى مشتق بلاسما غير متليف وغير ليبيدي (دهني) هو البروتين الثابت السائل ،
القابل للتعقيم بالحرارة ، مما يتيح توقع إبطال فيروس اليرقان .

وبفعل تطبيقاته الطبية دخل نقل الدم ، الذي كان بالأمس رمز الضرورة ، في العديد من
الحالات المرضية وشارك بالتالي في كل الأمراض .

إن المداواة لمحاربة التشنج جاءت لتثور تطيب العديد من الأمراض حيث تسد الجلطات
الوريدية والشرائية الأوعية ، كما تحمل ضمناً تفاعلية الانسداد الخطير . ولذا فإن المداواة تتطلب
مراقبة واعية (اختبار كويك ، اختبار تخثر اورن ، اختبار تقبل الهيارين) .

في سنة 1916 اكتشف ج . مك لين الهيارين الذي يقاوم حالات التشنج . واستعيد عمله
واستكمل من قبل و . ه . هويل (1918) . وفيما بين 1918 و 1946 أوضح جوريس ثم ج . ب .
جاكس ، وشارل صيغة الهيارين ، وعزلوه بشكل نقي وطبقوه في العيادة على معالجة حالات
التشنج .

وتسلسل اكتشاف المعالجة الثانية ضد التشنج من سنة 1924 حتى أيامنا . اتاحت أعمال كمبل
ولينك (1941) عزل مواد مضادة للتشنج تم تركيبها سنة 1941 (ستاهمان ، هونر ولينك) : أنها
الديكومارين (مضادات للفيامين K) التي طبقت فيما بعد لمعالجة حالات التشنج (ديكومارول أو
3-ميثيلين مزدوج - 4 هيدروكزي كومارين وفينيل - اندان - ديون) .

هذه المعالجات ، خاصة بواسطة الديكومارين تتطلب مراقبة عيادية وبيولوجية (معدل
التشنج واختبار تقبل الهيارين) بسبب مخاطر النزف . ومؤشرات الأساسية هي حالات التشنج
الوريدي وحالات التشنج التاجي .

الأدوية ضد الحماسية - إن مسألة الدور الفيزيولوجي المرضي للهستامين قد طرحها دال
وليدلو سنة 1910 ودرس لويس Lewis وغرانت اثر الهستامين الشعري عند الإنسان دراسة مشرفة .
وسعت البحوث اللاحقة التي قام بها لويس سنة 1927 ، ومانورنغ ، بارتوش وفلدبرغ ، بارسوم
وغادوم ، افغار ، بووث وباروت ، تينل ، إلى إثبات حقيقة تدخل الهستامين أثناء حالات

الحساسية المفرطة والحساسية العادية . وعندها تم التساؤل عن امكانية كبح الهيستامين بمستحضر قادر على صد مفعوله بشكل خاص .

وتم تركيب أول مستحضر مشتق من الانيلين واسمته N ديميتيلامينو اتيلانين N انترغان أو (2339RP) من قبل كوشت، مونيه وبوقيه، ودرسه هالبرن (1942)، وبدأ فعلاً ومقبولاً . وفيما بعد قام د . بوقيه وولهرت بتركيب - من بين مشتقات البيريدين - جسم بدا نشاطه المضاد للهيستامين اعلى من مفعول الانترغان ، وعرف تحت اسم نيوانترغان أو 2786 RP . وفيما بعد تم صنع مشتق من الفينوتيازين 3277 RP أو فرغان الذي بدا مفعوله أعلى من مفعول بقية الادوية المضادة للحساسية ، كما ان سميته اقل .

وبعد الفرغان ظهرت سلسلة من مضادات الحساسية ، تركيبيه ، اتسع مجالها بسبب خصائصها الشفائية والمسكنة والمقنعة نفسانياً وأيضاً بفعل اكتشاف الصفة الحساسية في العديد من الامراض .

وكل هذه الادوية تستعمل ضد المظاهر الجلدية على عدم التقبل (الطفح ، الحكاك ، عقص الحشرات ، الاكزيما ، وجميع الدلائل الجلدية الدالة على عدم التقبل للادوية) وضد مختلف مظاهر الحساسية كالربو واشباهه .

الاستطابات الجديدة للجهاز العصبي ، والمداواة الكيميائية للحالات النفسية . - ان الادوية العصبية المسكنة تمارس اثرها لا على الجهاز المستقل فقط ، بل ايضاً على الجهاز العصبي العضلي المخطط مثل الدواء المسمى كورار، وعلى عناصر الجهاز العصبي المركزي مثل الكلوربرومازين .

في سنة 1935 توصل كنغ إلى عزل مركب كيميائي محدد هو D-توبوكورارين ، مزود بخصائص فيزيولوجية ثابتة تتيح التحكم بالكورار وتيسطه . ودلت دراسة طويلة عن المواد الكورارية (المخدرة) التركيبية على امكانية الوصول الى اكتشاف العقار تري - يودو - اتيلات دي تري - (B - ديثيل أمينو ايتوكسيل) 1-2-3 بانزين ، من قبل مدام لسترانج من جهة ومن قبل د . بوقيه (فلاكسيديل) من جهة أخرى .

وهناك ثلاثة مستحضرات تركيبية توصل اليها هازارد ومعاونوه : احد هذه المستحضرات هو دي برومونيذيلات من M-N ديثيل امينو اثيل بيبيرازين (إيزوكورين) . وتستعمل هذه المستحضرات عن طريق الوريد أو العضل أو المخرج . في سنة 1941 خطر لبينيت لأول مرة ، فكرة استعمالها للقضاء على المرحلة التوتيرة في الصدمة الكهربائية . سنة 1942، نشر غريفيث أول إحصائيات مهمة حول التسكين بالكورار في العمليات الجراحية ، مما يمكن إجراء العمليات على العضلات المتقبضة ؛ ولكن هذا التسكين لم يستعمل في مثل هذه الحالات إلا إذا توفرت المعدات الضرورية لإعطاء الأوكسجين في أنبوب القصبة ، والمعالجة بالأوكسجين ، والتنويم في حلقة مغلقة .

ان التسكين بالكورار قدم خدمات حقيقية في كل العمليات الجراحية التي تقتضي انحلالاً

عضلياً متقدماً جداً مما يتيح انقاصاً للكميات الكبيرة من التخدير الضرورية لاجراء عمليات جراحية طويلة المدة . وسرعان ما دخل التخدير بالكورار الى الطب حيث استعمل في بادئ الامر ضد التيتانوس ، كما استعمل ايضاً ضد العديد من الاصابات العصبية المعقدة والتي لها علاقة بالتقلص العضلي .

وفي الوقت الحاضر يستعمل بشكل واسع ، الكلوريدات دكلورو 3 (دي ميتيلامينو 3 ، برويل) - 10 - فينيتازين ، أوكلوربرومازين ، الميتكر في فرنسا عبر اعمال مختبرات RP ، اثناء البحوث المتبعة بشكل منهجي من اجل استحداث الشلل العصبي الانباتي ، يستعمل لوظيفة ادريولية ويستعمل كمسكن ؛ ويتميز ايضاً بخاصية تحسيس الخلية العصبية في حالات التخدير العام ، وفي حالات التنويم ، والتسكين . ان معطلات الاحساس عند العقد (غانغليو پلجيك) ، تعطل نقل السائل العصبي عبر العقد (غانغليون) في الجهاز العصبي الانباتي ..

والمعرفة بهذه المعطلات يعود الفضل فيها الى اعمال بورن ودال (1924) ، وهانت (1926) . واكثرها استعمالاً هو : بتامتنيوم ، هكزامتنيوم ، والبندوميدي (الذي تم تركيبه على يد ماركس وميشر) . وهذه المواد تؤدي إلى الغاء كل توتر وعائي ، وتسهل امكانية تنزيل الضغط الذي يلي التخدير العقدي ، اي تنزيل الضغط المراقب في الجراحة .

انه في مجال جراحة الدماغ بدت عملية تخدير العقد مفيدة مما رشح استعمالها . ولكنها مستعملة بشكل شائع ايضاً في جراحة الفك الوجهي ، وفي جراحة جهاز الحركة وفي جراحة الصدر .

ويبدو بشكل خاص « السبات » الذي يلجأ إلى التخدير العصبي بالادوية الحاصل بمساعدة الكلوربرومازين المقرون بالفنغان أو بالدولوسال ، أو بالدياكول ، أو بالبروكاين ، أو بسولفات السبارتين ، وايضاً بتبريد المريض (پ . لا بورت وه . هوغينارد ، 1954) . وهناك مخدرات اخرى وممكنات اضيفت إلى المورفين ومشتقاته .

نذكر : كلوريدات ايزونيايسيليتانولامين (إفا دول) وهو مخدر للتشنجات ؛ نيكوتينيلامينو 1-2 ديفينيلتان (ليسامين - سيلاغ) . وإلى اللاتحة الكبيرة من مشتقات مانونيولوري يضاف بانثونال ، ايزواميليتيلمانونيولوري ، وآليل ميتيل بوتيلمانونيولوري . واطيفت إلى مضادات التشنج الانترينيل وايزوكندندرين أو ايزاندريل . وإلى الانرويين ، والداتورا ، وإلى السكوبولامين وإلى الهيوسين المستعملة جميعاً في معالجة مرض باركنسون اضيفت ادوية تركيبة : من مجموعة مضادات الحساسية مثل ديباركول ، بارسيدول ، باربانيت - ومن مجموعة أنروينية ، ارتان وكيمادرين (وهذا الاخير عزل سنة 1951 من قبل د . و . اعمسون ، وباريه وفيلكسون) .

ان النهضة الحديثة للطبيب النفساني بالكيمياء كانت مزدهرة إلى درجة انها تسببت ببحوث ناشطة في مجال الكيمياء الصيدلانية ، وهي بحوث ادت إلى تحقيق انجاز العديد من المستحضرات الجديدة .

والمجموعة الاولى ، هي مجموعة نيرولبثيكية [مخدرة عصبياً] وتنقسم بذاتها إلى مجموعتين : مجموعة الفينوتيازين ونموذجها هو كلوربرومازين (1952) ، ثم مجموعة القلويات المسماة « راولفيا سربتينا » وخاصة الريزوبين (1954) . ويستعمل كلوربرومازين بسبب مفعوله المهدئ ، بكميات كبيرة في حالات العصاب . ومن بين المشتقات الاخرى من فينوتيازين نذكر : ميتوبرومازين ، ليفبرومازين ، اسيرومازين . ويعتبر الريزوبين مخدراً ثميناً جداً بسبب انتحائه الشهي من الدماغ والدماغ المتوسط ؛ ودراسته لا يمكن أن تنفصل عن دراسة سيروتونين ويواسطته بفعل مفعوله .

والمجموعة الثانية تتضمن أدوية مهدئة صفري: هيدروغيزين وبيناكيتزين وميروبامات وكاربامات ميتل - بتيول .

وهناك عقاران مختلفان جداً عن العقاقير السابقة اكتشفا سنة 1957 من قبل كوهن وهما : ايريماتين وايريونازيد وتمارس هاتان المادتان مفعولاً خاصاً ضد حالات الانهيار وبصورة خاصة ضد الكآبة .

بين يدي الطبيب النفساني بعد الآن اسلحة كيميائية تستطيع التأثير في عدد كبير من حالات الاحباط الكئيب أو لا . ورغم ذلك فإن نشاطها لا يعتبر دائماً كافياً ، ثم انها عند التطبيق تستدعي الحذر ، لأن سوء تقليد سرخطورة حالة احباط يستدعي مسؤولية الطبيب تجاه خطر الانتحار . وهناك العديد من حالات العصاب تقتضي ، لجهة خطورتها ، وسائل تطبيقية أخرى ومنها العلاج بالنوم الذي نتج عن اعمال بافلوف ، ومنها طرق الصدمة : صدمة الانسولين (ساكل ، 1934) وصدمة القلب ميدونا Meduna (1934) ، والصدمة الكهربائية لسيرليني (1937) ، وصدمة الصلاريا (مالاريك) إلج . فون واغتر - جوريج (1917) .

VI - تقنيات الانعاش

ولد الانعاش من اعمال الباحثين الاميركان وخاصة غامبل حول الوسط الداخلي والتوازن المائي والكهربائي في الجسم . ويتوجب الانعاش حكماً في حالة اختلال التوازن الحاد في الوظائف الحيوية الرئيسية : فقد الماء ، فقد التوازن الكهربائي ، الاستعداد للنسجم بالحوامض أو بالقلويات ، حالات الوهن القلبية الوعائية . الضعف الخطير والاضطرابات النفسية . ومعروف هو نجاح مجمل هذه التقنيات التي تحيط بالعمل الجراحي وتقلص بشكل فريد مخاطر الصدمة الجراحية ، والامراض التي تأتي بعد الجراحة ، وتؤمن سلامة تجعل التدخلات الجراحية الأكثر جراحة ممكنة .

ان الانعاش الطبي اصبح ايضاً طموحاً وفعالاً مثل الانعاش الجراحي ، وهو يبدو واحداً من المكتسبات الاكثر قيمة في طب السنوات الاخيرة . كل يوم ينجم مرضى كثيرون بفضل اضافة المعالجة التي تعيد تاهيل الكتلة الدموية وتقوم من جديد التوازن الفيزيولوجي اضافة إلى معالجة اسباب المرض .

ويتيح الانعاش احياء مرضى محتضرين ولكنه لا يستطيع الانجعال ويجب ان يجرى في مركز يعمل فيه فريق طبي ، تعاونه تجهيزات خاصة وتقنيات مخبرية ملائمة . وهو معالجة طواريئة في حالة وقوع انهيار قلبي وعائي أو حالة صدعة أو احتراقات خطيرة ، أو حالة تسمم ثقيل ، أو يرقان خطير ، أو كوما (غيبوبة مستمرة) ، أو مرض عام قاسم .

والطريقة الافضل بشكل خاص في حالات تسمم الرضيع ، تحقق حلاً علاجياً ممتازاً لحالات فقد الماء بشكل تسمم . وكانت هذه الحالات في السابق مسؤولة عن موت الكثير من الاطفال . وفي سنة 1938 بادر كاريليتز وشيك إلى ابتكار تقنية الحقن المتواصل عبر الوريد في هذا السن . لا شك ان دور المضادات الحيوية قد أصبح معروفاً ضد هذا المؤشر السببي للمرض القائم على العدوى دائماً ، ولكن الانعاش عن طريق الوريد ضروري في الغالب في الاشكال الأكثر سوءاً .

وهناك تقدم رئيسي آخر تحقق من جراء معرفة اهمية الانعاش عن طريق التنفس . لا شك ان المعالجة بالاكسجين كانت معروفة منذ سنوات عدة : وتعتمد اليوم المعالجة بالاكسجين المكثف تحت خيمة معالجة تخدم كثيراً خاصة في حالات الاصابة القصصية الرئوية الحادة المقرونة بعسر التنفس عند الاطفال الصغار . ولكن هذه التقنية لا تكفي في حالات القصور التنفسي ذي المنشأ العصبي كحالات الكساح والتيتانوس التي وضعت من اجلها تقنية الرئة الفولاذية ، وتقنية لاسن .

ان « الرئة الفولاذية » هي جهاز تنفسي يعمل عن طريق الخارج ، وهي فعالة ضد الشلل بين الاضلاع من الغشاء الحاجز ، شرط ان لا يكون المريض يعاني من اضطرابات تنفسية . عند وقوع وباء الكساح الاطفاي الكبير في كوبنهاغن سنة 1952 ، وضع لاسن علاجاً جديداً يقوم على ثقب القصبه الهوائية مما يتيح التخفيف عن هذه الاخيرة وعن الشعبات ، يتبع ذلك ادخال انبوب ، في القصبه مع تنفس مساعد اما باليد واما بواسطة جهاز بالتفخ المباشر للهواء في القصبه (انغستروم ، بانغ) . وقد خفضت هذه المعالجة بشكل ضخم نسبة الموت في الحالات العالية من شلل الاطفال ، انما لا يمكن تطبيقها الا تحت مراقبة مستمرة وفي مصلحة اشغائية متخصصة .

ويخلخل توقف افراز البول بصورة دائمة مهما كان السبب (فساد الدم عن طريق العصبيات ، تشقق العصبيات الخطير ، الحوادث الناتجة عن النزف ، التهاب الكلية الانبوبي السام) ، تبدو ضخامة الشلوذات البيولوجية بحيث تصبح حياة المريض مهددة بصورة سريعة . وتصبح عندها الحاجة إلى تنظيف الدم خارج الكلية ضرورية : الفصد المقرون باعطاء الدم (زانك وسي ، 1945) ، التنصيف الغشائية (ديرورت وتانريت ، 1947) البث الامعائي (همبرغر ، 1948) ، كل هذه الاساليب قد أجريت بصورة دورية . ومن كل هذه الطرق المقترحة حتى هذا اليوم كان اسلوب الكلية الاصطناعية هو الأكثر فعالية .

وتطلق هذه التسمية على جهاز يؤمن دوران الدم خارج الجسم حيث يظهر الدم عبر غشاء من

السيوفان في محلول ملحي . والجهاز المستعمل هو الجهاز الذي صممه و . ج . كولف (1940-1944) ، الذي ابتكر الأسلوب ، وعدل فيه ج - پ . ميريل . وفي حال الانسداد البولي المستمر تقوم عملية تطهير الكلية اصطناعياً مرة أو مرات بتصحيح الاضطرابات البيولوجية ، وتحسن المؤشرات العيادية وتتيح استمرار حياة المريض إلى ان يستعيد وظائفه الكلوية .

ان التقنية الحديثة الرامية إلى تنشئة الاولاد المولودين باكراً هي بدون شك ، واحدة من اهم التقنيات الانعاشية لانها خفضت نسبة وفيات المولودين باكراً من ذوي الاوزان التي تقل عن ألفي غرام ، من معدل 85 بالمئة إلى 35 بالمئة .

وتقتضي هذه التنشئة توفر أربعة شروط رئيسية هي : العزل الكامل والتطهير الوقائي لجهة العناية ، التدفئة ، التغذية بالأكسجين ، اعداد الطعام المناسب . ان نتائج تنشئة المبكرين تقع تحت رحمة هذه الشروط التنشئية ، وتحسن النتائج بتحسن شروط التنشئة . ان المبكر الذي ينجو من مخاطر الايام الاولى ، يزداد حظاً في العيش ويصبح شخصاً طبيعياً .

وتم تحقيق جهد ضخم من اجل المبكرين ، وذلك بعد انشاء مراكز متخصصة مزودة بحاضنات متقنة يشرف عليها اشخاص مؤهلون . والمراكز الاولى لتنشئة المبكرين ، اسست في انكلترا في برمنغهام سنة 1931 ، من قبل ماري كروس ، وبذات الحقبة تقريباً ، في الولايات المتحدة في شيكاغو من قبل هس . والتجهيز بشكل مراكز حديثة للمبكرين قد تقدم بسرعة منذ الحرب العالمية الثانية وانتشر في الكثير من البلدان .

ان هذا مثل من بين امثلة للدلالة على فضائل ما يقدمه الطب الحديث للاطفال . ان قوة وسائل مكافحة الامراض مثل المستحضرات المضادة والكيميائية والتلقيحية ، وكذلك علم التوازنات الايضية والهرمونية ، وتقنيات الجراحة والتخدير والتنفس ، والدورة الدموية ، والتغذية ، وتنقية الدم اصطناعياً ، كلها يستخدمها الطب اليوم من اجل انقاذ الطفل ، في اغلب الاحيان ، منذ اللحظة التي يأتي فيها إلى العالم وايضاً بخلاف الايام الاولى من حياته عندما يكون متناهي الضعف . ان السنوات الاولى من الحياة ليست المستفيدة الاقل من الثورة الطبية التي تحققت في ايامنا .

VII - التطبيب بالاشعة

ولد التطبيب بالاشعة بعد اكتشاف اشعة X بقليل . وكان في بادىء الامر تجريبياً خالصاً ، وكانت المعدات هزيلة ؛ وامراض الجلد هي التي اتاحت للتطبيب بالاشعة أولى نجاحاته . وفي السابق قدم تورستننيك سنة 1899 السرطانات الاولى الجلدية التي شفيت باشعة X . ومنذ 1897 نجح ل . فروند في تشجيع فتاة صغيرة كانت تحمل توتة ملونة تمتد من ظهرها حتى رقبته .

وبعدها توسعت محاولات التطبيب بالاشعاع فشملت الاصابات الالتهابية الانانية والخيثة . ومنذ سنة 1902 نجح الطبيب الاميركيان ن . سن وبوزي في ابعاد تزايد الكريضات بواسطة تشجيع امراض العقد اللمفاوية . وفتح ج . ك . برنس يومئذ حقبة جديدة في التطبيب الاشعاعي ، حقبة

التطبيب الاشعاعي العميق وخاصة التطبيب الاشعاعي لامراض النساء .

واستعلم برتس من رونتجن الذي اخبره بتنوعية اشعة X عند خروجها من الانبوب ، فخطر له ان يصفئها عبر كثافات معدنية من اجل ان يستعد الاشعة الطرية التي يمتصها الجلد والتي تعتبر ضارة بالنسبة اليه ، وبالتالي الاكتفاء بالاشعة القاسية الصلبة التي تستطيع الوصول إلى الاعضاء العميقة .

وعولج سرطان الثدي منذ سنة 1902 من قبل فلهر ، وتبعه بيكلير سنة 1904 . وفي السنة نفسها نشر فوفودي كورمل أول نجاح للطب الاشعاعي ضد الورم الليفي . وبين 1912 و 1920 ، عولجت سرطانات عنق الرحم ، على نطاق واسع . وقد ارتبطت هذه النجاحات الأولى باسماء ريغود وبيكلير ، فورسل وهيمان ، بيلي وهيلي ، ثم ووتر .

ولكن كانت هناك بعض الحوادث المتعددة وبعضها كان خطيراً . وقد دلت هذه الحوادث على ضرورة ملحة للبحث عن معيار أو مقياس للاشعة .

ومن حبوب سابورو ونواريه إلى المقياس اللوني للأشعة الذي وضعه هولز كنخت ، إلى نظام H. E. D الذي وضعه سيتز وونتر ، فكر زيلار وفيلارد منذ سنة 1908 باستبدال قياس تايين الهواء بأشعة X . وقدم فيلارد أول تعريف فيزيائي لوحدة التأيين وسماها الوحدة V . وفي سنة 1913 بين السويسري كريستن الموازنة بين مفعول التشعيع ، والكمية - الحجم التي وصفها بأنها كمية أو معيار بيولوجي .

وأدت هذه البحوث التي شارك فيها س . دوفيليه ، دان كوليز في فرنسا ، هولتوسن ، غلوكر وجيغر في ألمانيا ، ماينورد وبراغ في انكلترا ، وغراي ، فايلا وأ . كويمبي في الولايات المتحدة ، إلى صنع أدوات جديدة للقياس وللتعريف (r) الدولي (ستوكهولم ، 1928) المعتمد من قبل مؤتمر شيكاغو سنة 1937 .

في كل هذه الحقبة كانت الاعمال الاستطابية كثيرة .

في سنة 1904 انطلق برغوتي وثرينوندو من التشعيع النسيجي ، فاعلنا القانون الذي يحمل اسمهما . في سنة 1921 فنن جيلبرت الجيني معالجة مرض هودكين . في سنة 1922 نشر ريغود ، كوتار وهوتان أول عمل جماعي تناول ست حالات من سرطان الحنجرة الخاضع للتشعيع فحصلوا على خمسة شفاءات . وكانت معالجة سرطان عنق الرحم موضوع دراسات مهمة من قبل س . لاورد سنة 1925 ، ودوكوينغ سنة 1932 ، وهيمان سنة 1935 . وكذلك سرطان الثدي . في سنة 1928 اظهر هودلقر طريقته في التشعيع بواسطة الحقول التماسية ، وفي سنة 1950 نشر سيزين التقرير الأكثر أهمية حول هذه المسألة الشائكة والشيقة .

ومنذ 1930 أُنح تحقّق البيكلوترونات ومسرّعات الجزيئات ، بشكل متزايد القوة ، واكتشاف النشاط الاشعاعي الاصطناعي واستخدام بطاريات ذرية ، للتطبيب بان يستعمل طاقات جديدة جسيمية وان يستعمل اشعة جديدة .

وعرف استخدام العناصر المشعة الاصطناعية نمواً سريعاً . منذ 1936 درس ج . فون هيفيسي ايضاً ³²P عند الجرذ . في سنة 1939 درس هميوتون تثبيت اليود المشع في الغدة الدرقية ، ونشر في سنة 1946 مع ج . لورنس النتائج الاولى لمعالجة التضخم الدرقي بواسطة ¹²⁸I . وعالج لورنس مرض تكاثر الكريات الحمر بـ ³²P (1940) ونشر نتائج هذه التقنية المتعلقة بنقص الكريات البيض في لب العظم (1946) .

ونشر كيستون (1942) وماريتلي (1947) تقنيتهما ونشائهما حول مفعول ¹³¹I بالنسبة إلى السرطان الدرقي . في سنة 1947 ثبت مورتون وميرس التطبيقات الرئيسية العلاجية لكوبالت-60 . في سنة 1950 درس كل من شرمان ونولان واللين التطبيقات التجريبية للذهب المشع في معالجة سرطان الرحم . ونشر فريدل وستورالسي في نفس السنة مفعول ³²P حول سرطان الثدي المقرون بانقتالات عظمية واسعة ، بعد التجربة التي حاولها ستون في سان فرانسيسكو سنة 1942 .

من سنة 1950 إلى 1959 اجريت دراسات عديدة حول المعالجة بالاشعاع بواسطة قنبلة كوبالت ⁶⁰Co ، وبينت هذه الدراسات الإمكانيات والمكاسب بالنسبة إلى المرضى ، وخاصة سرطانات الحنجرة والرئة والرحم والبلعوم . وكلها تلج على الفوائد الآتية المباشرة ، ولكن من المبكر تكوين فكرة صحيحة عن النتائج الايجابية لصالح العلاج بالاشعاع . وكذلك الامر بالنسبة إلى العلاجات بالطاقة العالية .

في سنة 1939 بدأ لورانس وستون في سان فرانسيسكو في معالجة السرطانات بواسطة حقن نوتروني منبثق عن مَسْرَع (سيكلوترون) . في سنة 1940 درس امع ابرسولد تأثير الترونات السريعة في معالجة الإصابات الخبيثة . وإذا كان تويانا قد ألحّ سنة 1958 على النتائج الجيدة المباشرة في معالجة سرطانات الحنجرة بواسطة البيتا ترون [مَسْرَع]، فمن المشكوك فيه تماماً الوثوق بالنتائج البعيدة .

ولكن استخدام هذه الطاقات العالية يبين ضرورة تحديد الوحدة (r) وقصرها على الطاقات التي لا تتجاوز (3 MeV) ؛ وقد اعتمد هذا في مؤتمر لندن سنة 1950 الذي انبثق عنه بذات الوقت راد «rad» ، وحدة جديدة للطاقة الممصوبة .

ورغم ظهور هذه الاستطابات المعقدة والدقيقة ، نظراً لطبيعة الاشعاعات المستخدمة ، فقد استمر التطبيق التقليدي في تقدمه .

وقد تم تحقيق التطبيق الاشعاعي بالاشعة القصوى ، هذا التطبيق الذي قال به بلوت ولندمان منذ سنة 1908 ، على يد بوكي سنة 1924 . في سنة 1934 نشر شاول اعماله الاولى المتعلقة باستخدام التطبيق الاشعاعي التماسي بصورة منهجية . وساهم لامارك وغروس في فرنسا إلى حد كبير في تطوير التطبيق الاشعاعي بفضل انبوب اتركس الذي اتاح بسهولة اكبر التشعيعات بين الجيوب وطور ماينورد نظريته حول المقدار المتكامل النسيجي واقترح استخدام غرام رونتجن . وفي سنة 1937 درس دوميل ديرشمونت الانماط التقنية للاستطباب بالمَسْرَع (سيكلوتراي) الذي اقترحه بوهل ، ومالت وبروكس . وقدم مارك (Marques) وكانيهاك وديفوليان ، بانساب

مختلفة مساهمة مهمة في فرنسا . وفي سنة 1948 اقترح بجورك والانكليزي لينلي تقنية الحقول الصغيرة بشكل تاج ، وهي تقنية عاد اليها سميترس ووترنيتز . واقترح ر . باترسون وباركر نظامهما المسمى « منشترسيستم » (1948) . واخيراً تطورت طريقة المعايير المتساوية التي درسها ديسوور وكوليز منذ 1922 ، خاصة في البلاد الانغلو سكسونية ، مع ماينورد ، باترسون ، ولامرتون ، فايتلا وأ . كويمبي .

ان التقدم في التطبيب الاشعاعي يقتضي معدات تتزايد تعقيدها وتتطلب اليوم مناهج عمل متجانسة يجب استعمالها في العالم اجمع .

VIII - تطور الجراحة

لم تكن انجازات الجراحة منذ خمسين سنة اقل ادهاشاً من انجازات الطب ، ولكن كما هو الحال في الطب ، كانت الاكتشافات في مجال العلوم البيولوجية هي التي مكنت من تقدم الجراحة . واذا كانت المهارة في العمليات ضرورية للجراح ، فان الجراحة هي جزئياً نشاط يدوي . فالعمل الجراحي ، الذي يحطم مؤقتاً تامة االية رقيقة كالجسم البشري ، لا يمكن ان يكون غير مؤذ وفعالاً الا بفضل المعرفة الدقيقة لسير العمل لهذا الجسم ، ولاحتياجاته ولاوجاعه ، حتى يكون مؤهلاً لارضاء هذه الاحتياجات ولتخفيف هذه الالوجاع .

لقد اتاح اكتشاف التخدير وتطبيقه اجراء تجارب عليه في الجراحة بخلال القرن التاسع عشر ، وذلك بفضل اعمال هـ . ولس ، و . مورتون ، ج . ي . سمبسون ، الخ . ولكن منذ خمسين سنة تحول التخدير بشكل فريد ، ففقد مظهره التجريبي العملي ؛ وتكاثرت اعمال التخدير ، واستكملت الاجهزة .

ان الجهاز الذي وضعه امبردان سنة 1908 كان ملحوظاً من حيث بساطته وعدم ضرره النسي حتى انه ربما اخر كثيراً انتشار تقنيات تخديرية حديثة ، وادوية مخدرة غير متطابقة ، هذا على الاقل في فرنسا . واليوم هناك اجهزة تتزايد كمالاتها ، تنظم علمياً التخدير (اجهزة فوريجر ، نيدرنيك ، مك كيسون ، الخ) ، فتتيح التخدير ضمن حلقة مغلقة ، جعلت ممكنة بفضل د . أ . جاكسون الذي صنع في سنة 1915 جهازاً يمتص الغاز كربونيك ، ويفصل ر . م . وترمس الذي ابتكر وعاء الكلل الصودي . واذا كانت أنبية القصبة الهوائية قد استخدمت في مختبرات الفيزيولوجيا منذ مطلع القرن ، واذا كانت قد استكملت بخلال الحرب العالمية الاولى بفضل اعمال ماجيل وروبوام ، فانها لم تنتشر الا بعد خمس وعشرين سنة ، حالة بصورة نهائية محل محاولات التنفس الاصطناعي (« ضمن صندوق ») من نمط غرفة سويز بروخ .

هذا المقدار من التقدم جعل من التخدير فرعاً علمياً خاصاً قضى على الموت عن طريق التخدير قضاءً شبه كامل تقريباً .

من المعلوم ان التعقيم أو التطهير هو الذي اتاح ولادة الجراحة الحديثة ، ومنذ اواخر القرن التاسع عشر ، قام الجراحون باستغلال النصر العظيم الذي حققه باستور . واصبح هذا الاستغلال

أكثر اثماراً أيضاً بفضل ظهور المضادات الحيوية ، وبفضل التطبيق الكيميائي ضد الاوبئة ، الامر الذي اتاح اليوم ، بعد استبعاد العدوى ، القيام بعمليات جراحية جريئة جداً في اطار من الطمأنينة المتزايدة .

وعمل التقدم في مجال الانعاش ، بعد تصحيح مرض للاضطرابات التحليلية الكهربائية ، وبعد شيوع استخدام نقل الدم ، منذ الحرب العالمية الثانية - الذي يعوض الخسائر في الدم اثناء العمليات - على ازالة أو على الأقل تخفيف الصدمة التي تعقب العملية .

وهكذا منذ خمسين سنة ، تمت الاحاطة بالمؤشرات العملية وابتكرت ونفذت التقنيات العملية . ولائحة العمليات الجراحية الجديدة لا حدود لها تقريباً : استئصال مختلف الزيادات في الجهاز الهضمي ، اجتزاز السرطانات ، التلحيم العصبي ، الترقيع الجلدي الخ . لقد شاهد القرن العشرون ازدهار جراحات جديدة .

الجراحة التجبيرية - ان الزيادة الدائمة في عدد الحوادث يجعل من هذا الفرع من الجراحة ، مجالاً ثميناً كل يوم .

في الولايات المتحدة تصدى بوسورث ، مور ، كوميسر ، ولسون ، ستيرلنغ بونل بنجاح للعديد من المشاكل التجبيرية الصعبة وخاصة تركيب العظام المعدنية للكسورات وللترقيعات العظمية . ووضح جافي وليشنتين وداهلن التشريح الباثولوجي الصعب للاورام ، وللسفل العظمي . وفي انكلترا أنشأ واطسون وجونس وشارنلي وسيدون وتروثا مراكز حديثة لعلاج الصدمات التجبيرية حيث يتم درس اعادة التأهيل ، والتدريب بشكل مدروس وافضل . يعتبر سميت - بيترسون أحد أكبر المعجدين في جراحة الورك . وفي ألمانيا شق باولس طريقاً ثمراً بشكل خاص لمعالجة الاضطرابات العظمية المفصلي . وفي فرنسا جعل مرل دوينيه ، جوديه ، بيتي ، الخ . من تجبير العظام تخصصاً ذا أهمية كبرى .

الجراحة الصدرية - منذ 1932 احتلت الجراحة الصدرية مركز الصدارة في التقدم الجراحي ، بفضل التقنيات التي سبق ذكرها ، وبفضل حل معظم المسائل الفيزيولوجية حول التنفس الرئوي والدورة الدموية ، وبفضل اكتشاف الادوية المضادة للتخثر والتي ضاعفت امكانية جراحة القلب والاوعية .

في سنة 1939 تصدى ر . أ . غروس ، وهو الاول في العالم ، لامراض القلب الولادية ، وربط بنجاح قناة شريانية . وفي سنة 1944 أجرى ك . كرافورد بنجاح عملية ضيق الشريان الابهر الولادي . وابتكر أ . بلالوك وه . توسيخ (1945) عملية التفصم مما حسن حالة الاطفال « الزرق » . وفي سنة 1938 جمع كرافورد مئة وثمانية عشرة ملاحظة حول استئصال الرئة ، وضم إليها ست عشرة ملاحظة شخصية . وفي سنة 1945 نشر سويت تقنية عمليات بسيطة وفعالة حول استئصال الرئة . وأصبحت عمليات استئصال فص من الرئة أو تقطيع أو استئصال أقسام أو أجزاء من الرئة شائعة في الجراحة الرئوية ، وشرع الآن بالتصدي لسرطانات القصبة والرئة .

وبواسطة التخدير ونقل الدم الصحيح ، وبواسطة الادوية المضادة للعدوى اصبح كل عمل جراحي ممكناً شرط ان يبقى القلب نابضاً لتأمين تزويد الجسم بالغذاء ، وبصورة خاصة تأمين غذاء القلب والدماغ والكليتين . وتعلم الجراحون بسرعة ان كل توقف للدورة الدموية يزيد عن اربعة دقائق يقترون حالاً بالموت .

وفي سنة 1948 تم التصدي للجراحة المباشرة داخل القلب وصموماته بفضل عملية استئصال للصمام قام بها ر . ك . بروك من اجل تلافي ضيق في الشريان الرئوي ، في ثلاثية فالوت ؛ مع تسكير المجاري المتصلة داخل الشرايين (بيلى ، 1950) . ولكن هذه الطرق اعطت نتائج مختلفة ، وغالباً غير مكتملة ، لان الجراح كان يعمل على العماءة دون مراقبة الرؤية . واذا كان عمله قد بدا فعلاً بالنسبة إلى ثقب منفرد ، فقد كان خطراً التصدي لعضلة القلب أو لاصابات الاغشية الفاصلة المتنوعة في مكانها ، وحجمها وشكلها . واصبح من الضروري بالنسبة إلى عدد من امراض القلب الولادية العمل ضمن قلب مفتوح .

بدا هذا التقدم ممكناً بفضل الانابيب البلاستيكية وبفضل السيليكون ، ومضادات التخثر ، والطرق التنفسية المراقبة ، وبالمساعدة على التنفس ، وبفضل المعقمات والمنعشات ، وبإحاطة العمل العمليتي ، بفريق من الاطباء والجراحين مهمته حل المشاكل التقنية الكثيرة ، وبمساعدة التقنيات الاشعاعية التصويرية والكهربائية ، وعمليات تنشيط الدم قبل العملية وبعدها .

وفي سنة 1949 بدى باجراء عمليات القلب بالذات ، بصورة منتظمة بعد ان استطاع بيلى (الولايات المتحدة) ، وبروك (انكلترا) القيام بتوسيع صمام القلب التاجي .

من خلال ثقب صغير والقلب مستمر في الخفقان ، يتم ادخال الاصبع ، ثم يقوم موسع بتوسيع الثقب الاذني البطني الايسر المريض الضيق . وتتم هذه العملية « على العماءة » ، وتسمى عملية « القلب المسكر » ، وقد اعطت نتائج جيدة . واطمان اليها الاف المعالجين اليوم . ويذكر ان فكرة العملية كانت قديمة ، لان محاولات مماثلة جرت من قبل آلن وغراهام على الانسان منذ 1922 ، ولكن مات بعد العملية ثمانية اشخاص بعد ان عاشوا بضعة أشهر . واليوم لا تبلغ نسبة الوفيات 10 % .

وبخلال السنوات العشرين الاخيرة حققت الجراحة الصدرية تقدماً ملحوظاً وذلك بفضل استخدام تنزيل حرارة الجسم الى اقل من الوسط ، وبفضل الدورة الدموية المتصالبة وبفضل القلب - الرئة الاصطناعي .

ان التقدم المدوي قد تحقق بخلال السنوات 1953-1954 على يد سوان ، بفضل تنزيل حرارة الجسم ، مما اتاح تسكير الاتصالات بين الشرايين في عمليات القلب المفتوح شرط ان لا تتجاوز فترة العملية مدة ست دقائق ؛ وكان هذا مطلباً قاسياً ، خاصة وان تنزيل الحرارة بدا مميتاً بالنسبة إلى البالغين ، وان جملة الصغار .

في سنة 1954 ابتكر ليكهي الدورة الدموية المتصالبة . وبموجها يفتح الأذين الايمن والبطين

الايمن ، ثم تجري بأم العين فيهما جراحة تصويبية تعيد فتح الصمامات الحاجزة بين الأذنين والبطينات ، وإزالة العوائق من المجرى الشرياني الرئوي في القسم القمعي . ولكن هذه الطريقة بقيت دقيقة صعبة التطبيق لأن الوقت المحدد لها يتراوح بين 15 و 20 دقيقة .

في سنة 1955 أدخل ليّلهي على آله الماصة ، مزوّد الاوكسيجين الذي وضعه وال . فقدم حلاً لمسألة كانت تدرس منذ أكثر من 20 سنة ، وذلك حين ابتكر جهازاً يستطيع تأمين وظائف القلب والرئتين ، بعد قطع الدورة الدموية عن هذين العضوين ، أي القلب والرئة الاصطناعية . وفي سنة 1956 قام كركلين وفريقه من جهتهم بإجراء عملية بواسطة جهاز تم فيه التغلب على المصاعب الضمنية في دفع الدم ، بأسلوب ماهر ، وذلك بفضل معدات الكترونية ابتكرها متخصصون في القوى الجوية الأميركية . بواسطة جهاز القلب - الرئة الاصطناعي اتاح التدخل المباشر في عملية تجويف القلب القليل الدم ، تصحيح الاتصالات بين الأذنين وبين البطينات ، البسيطة أو المقرونة بارتفاع الضغط الرئوي ، وضيق الشريان الرئوي ومركب ايزنمنجر .

مثل هذه التدخلات الجراحية جعلت مريحة بعد إيقاف نبضات القلب ، بزرق - في قاعدة الابهر المسدود بملقط - محلول من سترات البوتاسيوم ، مما يتيح للجراح العمل على قلب خالٍ من الدم وجامد ، سوف يعود إلى الخفقان بعد رفع الملقط عن الابهر (إسمر ، 1956) .

ويجدر أيضاً أن نذكر تقنيات الانعاش القلبي ، وتندليك القلب ، واستعمال مانع التليف ، وكلها من شأنها أن تعيد بعث افراد في حالة الموت الظاهر إلى الحياة . وهي تقنيات استعملت بنجاح ضمن الشروط الجراحية الأكثر تنوعاً . ومن شأنها أيضاً أن تعيد إلى الحياة مرضى كانوا ضحية توقف قلبي عنيف كما تدل على ذلك ملاحظات أحادة (براون فودسن وشرودر ، 1957 ؛ بك ، ويكيسر وياري ، 1956) .

الجراحة العصبية - كانت انكلترا مهد الجراحات العصبية حيث تم لأول مرة إجراء عمليات على الدماغم الدماغية (و . ماسيويين ، 1883) ، وحيث أجريت أول عملية لاقتلاع ورم دماغي (ماسيويين ، 1879) وأول ورم يضغط على الحبل الشوكي (ف . هورسلي ، 1887) .

ومنذ أواخر القرن التاسع عشر نجح هورسلي في استئصال عدد كبيرة من الاورام الدماغية ، والنخاعية المختلفة . وجاء المصارع العظيمي البلاستيك بفضل و . وغنر (1889) ، والعنشار من ل . جيغلي (1898) ؛ والشمع من أجل وقف نزيف العظم ، والعضلة من أجل وقف نزيف الدماغ جاء من هورسلي .

في بداية القرن العشرين كان الأميركي ه . و . كوشنغ أول من فهم انه من أجل النجاح يتوجب على الجراح العصبي أن يعرف التشريح والفيزيولوجيا وعلم الامراض التي تصيب الجهاز العصبي ، وأن يعرف طب الاعصاب العيادي ، حتى يتسنى له أن يتولى بنفسه مسؤولية التشخيص وإيضاً القيام بالعمل الجراحي .

في سنة 1911 ، ابتكر مشبك الفضة ؛ وهو الذي استخدم أولاً للتخثير الكهربائي ، انما

ابتداءً من سنة 1927 . واستطاع مع معاونيه (هوراكس ، ساكس Sachs ، بيلي) ان يعزل ، وان يصف كل انواع الاورام الدماغية تقريباً ، مثل : ورم الاعصاب ، الدمل السحائي الموضوعي أو المتعدد الأنماط ، وورم الغدة النخامية ، وأورام بلعومية جمجمة ، وأورام الاعصاب السمعية . وابتكر طرقاً جراحية لكل منها . اما بالنسبة الى الاورام التي لا يمكن استئصالها فانه نصح في سنة 1905 بإزالة الضغط فيما تحت الصدغين .

وادخل الاميركيان و . ج . سيلر وش . هـ . فرايزر ، القطع التراجعي في جذور العصب المثلث التوائم (1901) . وقام ادمسون بتحسين الطريقة وتبعه فيما بعد بيت سنة 1918 وقدم هذان الاخيران ايضاً طريقة قطع الجهاز العصبي الشوكي في جراحة ازالة الالم (1912) .

وبواسطة تصوير البطين سنة 1918 وتصوير المخ سنة 1919 المتح و . أ . داندي عصرأ جديداً في الجراحة العصبية . وبدأ باجراء عمليات حتى على اورام البطينات الجانبية ، واورام البطين الثالث واورام النخامية .

وانطلاقاً من هذه الاعمال ومن أعمال كوشنغ انتشرت جراحة الاعصاب في العالم . وكان باعثوها هم و . فورستر في المانيا وت . دي مارتل ، وكلوفيس فانسانت في فرنسا وبنفيلد في كندا . وتطور علم الجراحة العصبية في فرنسا بفضل فانسانت ومساعدة . وبين سنة 1930 و 1940 ازدهرت هذه الجراحة . في تلك الحقبة اصبح التشخيص المبكر والاستئصال الكامل للأورام الدماغية موضوع جهود فانسانت ، ولكن جراحة الاعصاب الفرنسية تصدت ايضاً لاصابات اخرى .

ودرس الصرع ومعالجته بالجراحة العصبية ، بشكل خاص من قبل نورستر وبنفيلد : وسهلت عملية تشخيص الاورام الدماغية بفضل تعميم التصوير الكهربائي للمخ وبفضل التصوير الاشعاعي للاعصاب (لندغرين) . وتصدت الجراحة العصبية ايضاً للتشوهات الوعائية الدماغية ، وللتنفخ في جدار الشرايين الكيسية ، والشريانية الوريدية . وبفضل تصوير الأوعية أصبحت المعالجة الجراحية الجذرية لهذه التشوهات الوعائية ممكنة .

اما الجراحة الفصية لمقدمة الجبهة فقد استلهمت بفضل اعمال بنفيلد الفيزيولوجية ، (انطونيو دي ايفاس مونيز ، 1936) وفتحت الطريق امام « الجراحة النفسية » (الميدولوما ، فريمان وواتس ، پوين) .

وفي الوقت الحاضر هناك اتجاه نحو الاستئصالات المحدودة (فوكتون ، لوبو) ، أو نحو تدمير انتقائي تبعاً لمختلف الدلائل العقلية أو الاوجاع . اما الجراحة في حالات ضعف الحركة فقد عرفت نجاحات بالنسبة الى مؤثر باركنسون ، وذلك بتدمير موضعي للعرورة العدسية ، وللنواة الرمادية في الدماغ (روسل ، مايوس) .

ان هذه الجراحة التي تهدف إلى إحداث عطب محدود انتقائي في نقطة معينة من الدماغ ، دون اضرار بالبنيات الأخرى ، قد تحققت بفضل طريقة خاصة : هي طريقة الانتظام للمسي

(ستيريو تاسكي) ، والتي وضعها سيفل وويس (1947) ، ومن قبل تاليرك ودافيد (1949) - والمبدأ مشتق من الجهاز الذي صممه سنة 1908 هورسلي وكلاارك من اجل غايات تجريبية . ان الانتظام المسمي قد فتح إمكانات واسعة للاستقصاءات الفيزيولوجية . وتطبيقاته التطبيقية سوف تكون عديدة بالتأكيد (مثل الصرع) .

هذا العرض السريع يدل على أن مجال الجراحة العصبية واسع جداً . نضيف أيضاً التشوهات (في العامود الفقري ، وفي التحام الجمجمة وفي النامور الجلدي) ، والصدمات في الجمجمة ، والفتوق الصحنية [القطنية] التي تدخل في مجال العمليات الجراحية .

جراحة الصمم - هذه الجراحة قد تطورت بشكل خاص منذ ثلاثين سنة ، وهي تطبق اليوم بنجاح كبير في الصمم الركابي وفي الصمم النشافي وفي بعض التشوهات .

في سنة 1914 وصف أ . باراني تقنية فتح القناة نصف الدائرية الخلفية ، ولكن المكسب السمعي الأولي المباشر لم يمكن الحفاظ عليه . في سنة 1917 ادخل ج . هولمجرين تقدماً كبيراً وذلك باستعمال اجهزة بصرية مكبرة . وفيما بين 1927 و 1937 نجح م . سورديل ، وهو الاول في ذلك ، في الاحتفاظ بالكسب السمعي في ثقب الاذن الداخلية (وذلك بفضل رقاقة وصلت بين الثقب وبين الجهاز الطبلي) . في سنة 1938 اعطى ج . لمبرت دفعة لجراحة سورديل فعملها (اسلوب الوقت الواحد ، والطريق الاندورالي) . وقام ج . أ . شامبوف (1942) واوبري (1947) بتحسين وتبسيط الجراحة . في سنة 1952 وصف روزن طريقته في تحريك العظيمة ، وفي سنة 1951-1952 وضع ولستين وزولتر طريقة ترقيع الطبلة .

في سنة 1957 بين اوميردان وجود تشوهات ولادية في عظام الاذن وخاصة في العظيمة في حين ان الصيوان والمجرى والطبلة هي في حالة طبيعية ، وبين انه يجب البحث عن حالات الضمور عند بعض الطرشان . وجاءت اكتشافات عديدة تحسن اخيراً تجهيزات الصمم على انواعه . في سنة 1932 صمم ه . لير اول آلة توصيلية عظمية . ومنذ 1948 استخدم الترانزستور في هذه الاجهزة .

الجراحة في مجال علم العين - في مجال العين حققت الجراحة ايضاً تقدماً كبيراً . فاستخراج الكنتاركتا في عدسة العين ، تحت الكبسولة ، حل محل الاستخراج من فوق الكبسولة ؛ واتاح تحسين الملاحظة هذا الاستخراج اليوم . اما تحسين الابر ومعدات الخياطة فقد اتاح تقطيع القرنية ، وتقطيع القرنية مع بياض العين . وفي السنوات الاخيرة جرت المحاولات الاولى لاستبدال بؤبؤ العين بعدسة شفافة من مادة بلاستيكية (عدسة نيدلي ، وعدسة سترميلي) .

ان المعالجة الجراحية للماء الزرقاء عرفت ايضاً تحسينات مهمة .

في بداية القرن كانت عملية استئصال القرنية معروفة وحدها من قبل فون غراف (1866) . وبدت هذه العملية غير كافية في حالة الماء الزرقاء المستعصية . عندها تم ابتكار العمليات الخراجية : مثل استئصال بياض العين والقرنية بسكين ف . لاغرانج سنة 1907 ، واستئصال

البياض والفرجية بواسطة الترفين ر . هـ . اليوت سنة 1908 . واخذت العملية المسماة « ايريد نكليزيس » التي وصفها ص . هولت سنة 1907 تنعمم باعتبارها عملية معالجة الماء الزرقاء ، الا بسط تطبيقاً ، ومن الاكثر فعالية .

في حالة الماء الزرقاء الطفولية ، وصف و . باربران في الولايات المتحدة « الفونيو تومي » والتي تهدف الى استئصال تشوهات الزاوية القرنية التي هي في اصل الماء الزرقاء الطفولية .

وابتداء من سنة 1920 أثبت ج . غونين في حالات نزع الشبكية أهمية المزق الشبكي . واليوم أتاح إلغاء المزق الشبكي بواسطة الكي الغلفني ، والتخثير الاستمراري المعزول أو المقرون بقطع بياضي عدسي ، الشفاء من حالة انتزاع الشبكية بمعدل خمسين بالمئة من الحالات .

ان حالات ترقيع القرنية الثقوية أو العدسية قد تحققت تجريبياً بفضل ماجينوت سنة 1909 . واتاحت اعمال أ . الشنيغ سنة 1914 وف . ب . فيلاتوف ، ابتداء من سنة 1923 إجراء أولى العمليات لترقيع القرنية عند الانسان . والواقع ان هذه الترقيعات قد تعممت منذ ان اتاحت النتائج في كل بلد ، أخذاً مبكراً للقرنيات من الجثة ، خلال ست ساعات بعد الوفاة . في سنة 1945 تم في الولايات المتحدة انشاء أول بنك للعيون . وأنشئ في فرنسا بنك مماثل سنة 1947 . واليوم هناك اتجاه لاستخدام الطعوم المحفوظة .



كل هذه الجراحات تجاوزت المرحلة الصناعية الحرفية منذ بدايتها . ان الجراحة الحديثة تتطلب وسائل مادية قوية وتنظيماً جماعياً ، وعملاً فريقياً يتوافق فيه المشاركون للقيام بالعمل المشترك . وشرط هذه النجاحات بالذات هو هذا التعاون الذي يعتبره البعض وكأنه من المعجائب .

ان الجراحة تحاول ان تحل مسائل خطيرة ما تزال تطرح عليها . فترقيع العظام يتم منذ بداية القرن ؛ ومنذ فترة وجيزة أصبح يتم ترقيع الشرايين ؛ وإلى جانب بنوك الدم قامت بنوك العظام وبنوك الشرايين (ومحاولات ترقيع الاعضاء ، تصطدم حالياً بمصاعب بيولوجية (همبرغر ومعاونوه) . ولكن مهما اتسع حقل العمل امام الجراحة ، ومهما بدت النتائج الحاصلة فعالة ، فلا بد من القول بان معالجة السرطان جراحياً تبقى ناقصة ، وتبقى النتائج غير مضمونة . ان الالتهاب الرئوي رغم ندرته ، ما يزال يهدد المريض وفي بعض الاحيان بعد الجراحة الاكثر بساطة .

استنتاج

ان اللوحة التي قدمنا بعض الصور فيها عن الطب بخلاف القرن العشرين تؤكد تماماً ، حسب اعتقادنا ، الانطباع المشار اليه في مطلع هذا العرض ، عن دق لم يقطع من الاكتشافات المهمة وعن تغيير شامل في مظهر علم الامراض والبيولوجيا . ولكي ننهي هذا العرض نريد لفت الانتباه

إلى بعض عناصر تساهم في تكوين سمة الطب المعاصر .

ان المراقب يؤخذ ، في بادئ الامر ، بالتوجه نحو البحث الطبي والبيولوجي ، الذي اجتذب عدداً كبيراً من الشبان . ان التعطش إلى المعرفة ، والرغبة في الفهم هما الشعوران الاقوى في الجيل الصاعد . ان الجذوة في التغلب على الطبيعة متقدة بقوة والنجاحات تثير الحماس . في مختلف انحاء العالم اتسعت كثيراً مراكز البحوث ، ودائرات الدارسات ، والمؤسسات المتخصصة في تنمية العلوم الطبية وتطبيقاتها .

ومن جهة اخرى ، من اجل استكمال الجهد الذي يرمي إلى افادة الانسان السليم من الوقاية ، وإلى اشفاء الانسان المريض ، من وبواسطة كل الاختراعات والتقنيات التي تحققت في العلوم القريبة ، ازداد بسرعة تقسيم الطب إلى مجالات متنوعة . وكذلك الامر فيما خص العمل ضمن فريق ، الذي اصبح مفيداً ، وفي اغلب الاحيان ضرورياً ، من اجل فهم كل فرد ، ومن اجل معالجة كل حالة . ان مسألة التخصص الطبي ، ومسألة العمل ضمن فريق قد طرحتا بشكل حاد في مجال الطب الحديث .

فضلاً عن ذلك ، اصبحت مسألة التزود بالالات معقدة جداً ومكلفة جداً ، وكذلك التجريب . ان نفقات البحث من جهة ، وايضاً النفقات التي يتطلبها كل يوم اجراء التشخيص والمعالجة بالنسبة إلى مرض ، تطرح مشكلة اقتصادية خطيرة جداً . من هنا الحاجة إلى مؤسسات خيرية ، وإلى صناديق ، وإلى اعتمادات موازنتية ملحوظة في ماليات الدول . ان على الجماعة ان تتحمل اعباء وتكاليف البحوث والعناية المبذولة . وهكذا تفهم هذه الحركة المزدوجة : انشاء التأمينات الاجتماعية ، والضمانات الاجتماعية ، واقامة مستوصفات طبية عامة ، ومرافق وطنية للصحة ، ومستشفيات حديثة من اجل القضاء في كل بلد على التفاوت في مواجهة الالم ، والمرض والموت . ومن جهة اخرى يهدف تشكيل مؤسسات دولية متخصصة بهذه المهمة إلى ازالة الفرق بين شعوب الارض تجاه الكوارث الامراضية . ان الاكتشافات الصناعية والعون الخيري قد ساعدتنا بقوة ، اذ ان مبلغاً من كل فرد يكفي للتغلب على الاجتياحات الميكروبية الاكثر بشاعة والاكثر ارهاباً .

وبالفعل يجب ان لا نعتقد ان التدابير وان استقصاءات الطب الحديث ، بما فيها من تعقيد وما فيها من ابداع مدهش ، هي مخصصة فقط للبحث الخالص ، السلامياتي ، المنفصل عن الانسان والآله : ابداً . ان التطبيق يستولي ، بسرعة قصوى ، في زمننا الصناعي هذا ، على التقنيات ويكيفها للتلائم مع العمل الطبي اليومي .

ان الجهد اصبح أكثر فاكثراً قوة من اجل اعطاء كل طبيب في العالم المعرفة بكل اكتشاف جديد أو تقنية جديدة . ان السرعة في التطبيق واستخدام الاكتشافات هي من مميزات الحياة الطبية في هذه العشرين سنة الاخيرة . ولما كان المرض يضرب بصورة خاصة شعوب البلدان السائرة في طريق النمو الاقتصادي والاجتماعي ، فان احد الجهود الابرز والاكثر ، من جهود البشرية ، يجب ان يبذل من اجل افادة كل انسان على الارض من الطب الحديث ، بخلال هذا القرن العشرين .

مراجع الأقسام الخمسة الأولى

الاطار التاريخي

Cadre historique. — « Histoire générale des Civilisations », t. VII : *L'époque contemporaine*, par M. CROUZET, 3^e éd., Paris, 1961. — Coll. « Peuples et civilisations », t. XIX : *La crise européenne (1904-1918) et la première guerre mondiale* (P. RENOUVIN, 4^e éd., 1962); t. XX : *La faillite de la paix* (M. BAUMONT, 4^e éd., 2 vol., 1960-1961). — J. PIRENNE, *Les grands courants de l'histoire universelle*, t. VI et VII, Paris, 1955-1956. — Coll. « Clio », t. IX, 2 : *La paix armée et la grande guerre (1871-1919)* (P. RENOUVIN, E. PRÉCLIN, G. HARDY, L. GENET, J. VIDALENC, nouv. éd., 1960).

البيولوجيات

Bibliographies. — G. SARTON, *Horus...*, Waltham (Mass.), 1952; F. RUSSO, *Histoire des sciences et des techniques : bibliographie*, Paris, 1954 (suppl. ronéotypé, 1955); J. C. POCCENDORFF, *Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften*, vol. 4, 5, 6 (4 parties), 7 a (4 parties), Leipzig, 1904-1962. — Bibliographies périodiques publiées par le *Bulletin signalétique du C.N.R.S.* (« Histoire des Sciences ») et par la revue *Isis*.

العلم، التكنولوجيا والمجتمع

Science, technique et société. — A. N. WHITEHEAD, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1925; J. G. CROWTHER, *The social Relations of Science*, London, 1941; P. DUNSHEATH, *A Century of Technology*, London, 1951; L. MUMFORD, *Technique et civilisation*, trad. fr., Paris, 1951; L. LEPRINCE-RINGUET, éd., *Les inventeurs célèbres*, Paris, 1951; G. BACHELARD, *Le matérialisme rationnel*, Paris, 1953; J. D. BEBNAL, *Science in History*, London, 1954; B. RUSSELL, *The Impact of Science on Society*, New York, 1956.

تاريخ العلم بصورة عامة

Histoire de la science en général. — É. PICARD, etc., et M. CAULLERY, *Histoire des sciences en France*, 2 vol., Paris, 1924 (t. XIV et XV de l'*Histoire de la nation française* de G. HANOTAUX); *Les sciences (Tableau du XX^e siècle : 1900-1933)*, par P. SERCESCU, J. ROSTAND, A. BOUTARIC, Paris, 1933; P. ROUSSEAU, *Histoire de la science*, Paris, 1945; *Cinquante années de découvertes*, Paris, 1951; H. DINGLE, *A Century of Science*, London, 1951; J. G. CROWTHER, *British Scientists of the XXth Century*, London, 1951; L. de BROGLIE, *Savants et découvertes*, Paris, 1951; S. F. MASON, *Histoire des sciences*, trad. fr., Paris, 1956; L. LEPRINCE-RINGUET, éd., *Grandes découvertes du XX^e siècle*, Paris, 1956; M. DAUMAS, éd., *Histoire de la science*, Paris, 1957; N. ABRAGNANO, *Storia delle scienze*, Turin, 1962; *Nobel, the man and his prizes*, Amsterdam, 1962.

الرياضيات

Mathématiques. — La plupart des traités d'histoire des sciences ne donnent qu'un aperçu sommaire de l'apport du XX^e siècle. Par contre de nombreux ouvrages scientifiques dressent un tableau de l'évolution récente du secteur de la science qu'ils envisagent. Nous nous limiterons ici à des indications bibliographiques limitées, renvoyant pour l'essentiel aux références données par les ouvrages généraux cités ainsi qu'aux grandes revues scientifiques (*Nature*, *Science*, *Scientific American*, *American Scientist*, *Sciences*, *Sciences Progrès-La Nature*, *Atomes*, etc.) et aux revues de résumés analytiques. L'*Encyclopédie française* (t. 1-8 et t. 12, avec ses *Cahiers d'actualité et de synthèse*, Paris, depuis 1936) l'*Encyclopedia of Science and Technology* (15 vol., New York, 1960) permettent en particulier d'obtenir des références précises sur les principales questions.

Pour les mathématiques, citons les ouvrages de F. CAJORI, J. CAVAILLÈS, A. CHURCH, J. L. COOLIDGE, L. E. DICKSON, F. LE LIONNAIS, P. MONTEL, J. R. NEWMAN, M. D'OCAGNE, Ø. ØRE et H. M. WALKER mentionnés au tome précédent (pp. 604-606), ainsi que : E. CARRUCCIO, *Corso di storia della matematica*, Turin, 1951 et surtout N. BOURBAKI, *Éléments d'histoire des mathématiques*, Paris, 1960.

العلوم الفيزيائية

Sciences physiques. — *Encyclopédie française* (t. II et XII, Paris, 1956 et 1958, avec d'importantes bibliographies) *Encyclopaedic Dictionary of Physics* (J. THEWLIS, éd., 6 vol., Oxford, 1961-62). Ouvrages de G. BACHELARD, E. BAUER, A. J. BERRY, W. BRACC, Ch. A. BROWNE, E. B. BURTT, R. S. CLAY et T. H. COURT, R. DUGAS, H. E. FIERZ-DAVID, A. FINDLAY, H. M. LEICESTER, F. LIEBEN, E. MACH, W. F. MAGIE, A. MITTASCH, J. R. PARTINGTON, J. PERRIN, C. PLA, V. RONCHI, M. ROOSEBOOM, G. URBAIN et M. BOLL, M. E. WEEKS, E. T. WHITTAKER, A. WILSON cités au tome précédent (pp. 606-608). Citons également : L. B. LOEB et A. S. ADAMS, *The Development of Physical Thought*, New York, 1933 ; E. ZIMMER, *The Revolution in Physics*, London, 1936 ; C. MÖLLER et E. RASMUSSEN, *The World and the Atom*, London, 1940 ; R. T. BEYER, éd., *Foundations of Nuclear Physics*, New York, 1949 ; S. GLASSTONE, *Source Book on Atomic Energy*, New York, 1950 ; M. von LAUE, *Histoire de la physique*, Paris, 1950 ; L. de BROGLIE, *Savants et découvertes*, Paris, 1951 ; M. de BROGLIE, *Les premiers congrès de physique Solvay*, Paris, 1951 ; G. HOLTOM, *Introduction to Concepts and Theories in Physical Sciences*, Reading, 1956, etc. Parmi les nombreuses biographies, citons celles de Rutherford (A. S. EVE, Cambridge, 1939), Einstein (Ph. FRANK, Paris, 1950), L. de Broglie (Paris, 1953), P. Curie (M. CURIE, Paris, 1955), E. Fermi (L. FERMI, Paris, 1955), I. Langmuir (C. G. I. SMITHS, London, 1962), etc.

علوم الأرض والكون

Sciences de la Terre et de l'Univers. — *Encyclopédie française*, t. 3, 1956. — Études de G. ABETTI, A. ARMITAGE, F. BECKER et E. ESCLANCON, C. C. BERINGER, A. DANJON et A. COUDER, Ch. DAVISON, P. von GROTH, H. HÖLDER, H. C. KING, E. de MARGERIE, K. F. MATHER et S. I. MASON, C. PERRIER, G. SARTON, A. TERTSCH, R. L. WATERFIELD, F. E. ZEUNER citées au tome III, 1 (pp. 606, 608-09). — *Vistas in Astronomy*, 3 vol., Pergamon Press ; J. A. HYNK, éd. *Astrophysics*, New York, 1953 ; H. JEFFREYS, *The Earth*, 3^e éd., Cambridge, 1952, etc.

علوم الحياة

Sciences de la vie. — *Encyclopédie française*, t. 4 et 5, 1937 avec mises à jour. — P. GRAY, *The Encyclopedia of the Biological Sciences*, Reinhold, 1961 ; A. F. SHER, *Classics of Biology*, London, 1955 ; M. L. GABRIEL et S. FOGEL, éd., *Great Experiments in Biology*, Prentice Hall, 6^e éd., 1960. — Études de E. B. ALMQUIST, L. ASCHOFF, S. A. BARNETT, E. BASTHOLM, F. S. BODENHEIMER, M. BOULE, F. BOURLIÈRE, F. O. BOWER, Ch. M. C. BROOKS et P. F. CRANEFIELD, W. BULLOCK, Californian Acad. of Sc., H. G. CANNON, G. S. CARTER, E. L. CORE, J. COSTANTIN, A. DAVY de VIRVILLE, B. DAWES, E. O. ESSIG, K. J. FRANKLIN, R. E. FRIES, J. F. FULTON, R. FURON, P.-P. GRASSÉ, A. C. HADDON, T. S. HALL, R. J. HARVEY-GIBSON, A. HUGHES, W. A. LOCY, A. N. MEYER, F. MEYER, M. MOBIUS, W. E. MUEHLMANN, E. NORDENSKIÖLD, M. NOWIKOFF, H. F. OSBORN, P. OSTOYA, P. N. L. POYNTER, H. S. REED, H. D. ROLLESTON, J. ROSTAND, K. E. ROTHSCHILD, E. S. RUSSELL, P. de SAINT-SEINE, G. G. SIMPSON, Ch. SINGER, R. SOUÈGES, R. P. WODEHOUSE, C. A. WOOD, W. ZIMMERMANN, citées au tome III, 1 (pp. 609-613). — Th. WEEVERS, *Fifty Years of Plant Physiology*, Amsterdam, 1949 ; L. DUNN, éd., *Genetics in the 20th Century*, New York, 1951 ; T. K. PENNIMAN, *A Hundred Years of Anthropology*, London, 1952 ; W. C. STEENR, *Fifty Years in Botany*, New York, 1959 ; W. B. TURRILL, *Vistas in Botany*, Oxford, 1959 ; G. PETIT et J. THÉODORIDÈS, *Histoire de la zoologie*, Paris, 1962.

الطب

Médecine. — *Encyclopédie française*, t. 6, 1936 et fascicule de mise à jour. — Ouvrages de E. H. ACKERKNECHT, A. H. BUCK, A. CASTIGLIONI, L. GLENDENING, P. DIEPGEN, R. DUMESNIL, F. H. GARRISON, O. GLASSER, H. COCHET, D. GUTHRIE, W. E. HAYMAKER, J. B. HERRICK, Th. E. KEYS, E. KREMERS et G. URDANG, M. LAIGNEL-LAVASTINE, P. LAIN-ENTRALGO, P. LECÈNE, R. A. LEONARDO, W. E. B. LLOYD, R. H. MAJOR, E. MAY, C. C. METTLER, L. T. MORTON, A. PAZZINI, W. A. PUSEY, G. ROSEN, R. SAND, R. H. SHRYOCK, H. F. SIGERIST, C. E. WINSLOW, cités au t. III, 1 (p. 612). — R. BROCA, *Cinquante ans de conquêtes médicales*, Paris, 1955 ; Ch. SINGER et E. A. UNDERWOOD, *A Short History of Medicine*, 2^e éd., Oxford, 1962 (bibliographie, pp. 761-795).

الحياة العلمية

في مطلع القرن العشرين مارست أوروبا الغربية تفوقاً لا نزاع فيه في كل مجالات البحث العلمي . وبأقل من ثلثي قرن تغير هذا الوضع بشكل عميق . وبدأت بعض الانجازات الخارقة المشهودة في الولايات المتحدة وفي الاتحاد السوفياتي - خاصة في مجال الفيزياء النووية والبحوث الفضائية - تكرر انحدار العلم الاوروبي لصالح البلدين اللذين اخذت انجازاتهم العلمية تظهر على مستوى قوتها المادية والعسكرية .

فضلا عن ذلك اخذ العلم يتحول بصورة متصاعدة وبشكل واضح بعد ان ظهر هذا التدويل في مطلع القرن . فبلاد كالاليان والهند والصين وأستراليا ، كان لها دخول باهر في جوقة البحث العلمي العالمي ، ولا شك ابداً ، انه بخلاف السنوات القليلة المقبلة سوف تدخل امم اخرى ، بصورة مباشرة نوعاً ما في مسار التقدم .

واذا رسمنا لوحة سريعة للحياة العلمية في مختلف البلدان ومختلف أقطار العالم ، فان الفصول المتتالية لهذا القسم السادس من الكتاب تتيح إدراك العوامل المتنوعة التي تتحكم بتطور العلم البشري ، بصورة أفضل . هناك مسألة أولى مهمة هي تقدير الوضع الحقيقي للبحث العلمي في امم أوروبا الغربية . الواقع اذا لم يكن بإمكان اي من هذه البلدان ان يأمل ، بتعقل في منافسة القوة العلمية للولايات المتحدة أو للاتحاد السوفياتي ، فان جهود التنظيم المحققة في مختلف البلدان قد احدثت مقاعيل ملحوظة ، وسوف تؤدي بالتأكيد إلى تسريع وتيرة التقدم . ان اقامة تعاون اوثق بين مختلف قطاعات البحث الوطنية تبدو وكأنها ضرورة ملحة في بعض المجالات .

فالولايات المتحدة وروسيا اللتان لم تحتلا ، في نهاية القرن التاسع عشر ، الا مكانة متواضعة في البحث النظري ، هما اليوم ، وبدون منازع ، في المقام الاول في مجال العلم العالمي . وهكذا ، رغم النظم السياسية والاجتماعية والاقتصادية المختلفة جداً ، اتبع هذان البلدان على الصعيد العلمي تطوراً متوازياً . والدراسة المقارنة للوقائع تبين على ما يبدو ، ان هذا التلاقي ينبثق بصورة اساسية من الروابط الوثيقة والمتزايدة التي تظهر بين البحث الأساسي والبحث التطبيقي ، بين التقدم الاجتماعي والقوة المادية والعسكرية في هذه الدول .

ان بطء النهضة العلمية في اميركا اللاتينية ، والصعوبة التي يعاني منها العالم الاسلامي ، من اجل المساهمة الفعلية في تقدم العلم المعاصر ، يفسران ايضاً بالتأخر النسبي لهذه البلدان ، على الصعيد الاقتصادي والاجتماعي . واخيراً ان المقارنة بين الوضع الحاضر للعلم في الهند وفي فيتنام وفي الصين وفي اليابان توضح عوامل اكثر تنوعاً . ففي حين بلغت اليابان مستوى علمياً عالياً جداً ، بقيت الهند التي تمتلك جهازاً علمياً من الدرجة الاولى ، مكبوجة في نهضتها بفعل مستواها الاقتصادي المتدني نسبياً ، وبعدم كفاية تجهيزاتها ، وبفعل بعض البنيات التقليدية .

اما فيتنام فهي بلد تخلص من الاستعمار حديثاً ، فقد انهكتها الحرب الاهلية ، وهو يفترق ايضاً إلى الوسائل المادية التي تسمح له بمباشرة سياسة علمية حقيقية .

اما الصين ، بالمقابل ، فتبدو وكأنها تتابع جهداً جماعياً يجب ان يوصلها الى لعب دور مهم في السنوات المقبلة . وتحليلنا لا يمكن ان يكون شاملاً ؛ ولهذا فلن يتعرض لاحوال بعض الدول مثل استراليا ، أو لبلدان تسير في طريق النمو مثل اندونيسيا وافريقيا السوداء .

ان الاستنتاج الاساسي الذي يتحصل من مثل هذه الدراسة ، هو التأويل ، المتمادي في ضيقه ، للتقدم العلمي وللشروط الاقتصادية والاجتماعية . ان العلم ، وهو دولي بروحه وبطبيعته ، يجب ان يساهم بصورة فعالة في تقدم البشرية جمعاء . ان التعاون المخلص الذي يقوم بصورة تدريجية بين علماء كل البلدان يبدو بالتالي افضل عامل من عوامل السلام .

الحياة العلمية في أوروبا الغربية

قبل محاولة استخلاص الخطوط الكبرى لنمو البحث العلمي في أوروبا الغربية بخلال القرن العشرين لا بد من تحليل اولي للوضع في مختلف البلدان .

هذه الدراسة السريعة تبين لنا ان الشروط العامة للحياة العلمية ، المختلفة نوعاً ما بحسب البلاد ، في مطلع القرن ، تنزع في الوقت الحاضر إلى الاصطفاف في صف واحد تحت ضغط الأمر الواقع الذي يدفع بكلّ امة إلى وضع وانتهاج سياسة علمية حقيقية .

المانيا - لقد حللنا في المجلد السابق الاسباب الرئيسية التي تفسر النهضة الاستثنائية للعلم في ألمانيا بخلال القرن التاسع عشر . هذه الاسباب نفسها : فعالية التنظيم الجامعي اللامركزي ، والمجهز بصورة عقلانية ، وتدفق العديد من الطلاب الالمان والاجانب المميزين ، وعدد وقيمة المنشورات العلمية من كل نوع ، غزارة المصارف الجامعية والخاصة المعروضة على الباحثين ، الدعم المهم جداً الذي تقدمه الصناعة ، سيطرة متزايدة للغة الالمانية في عالم العلم ، ثم قوة ألمانيا السياسية الموحدة ، كل ذلك عمل بقوة حتى الحرب العالمية الاولى . ثم ان معاهد البحوث الالمانية ما تزال تجتذب نخبات الباحثين من كل الهويات ، الراغبين في اكمال تأهيلهم . واذا كانت بعض مراكز البحوث الاخرى في الغرب قد نجحت في سبق أو في التعادل ، بالفعالية والشهرة ، مع المؤسسات الالمانية من نفس الاختصاص ، فان العلم الالمانى يظهر ، بشكل متوسط تفوقاً لا جدال فيه ، خاصة في المجالات التي تبدو فيها العلاقة وثيقة بين النظرية والتطبيق الصناعي مثل : الكيمياء العضوية ، والتعدين ، والكهرباء ، إلخ .

ومنذ اندلاع الحرب العالمية الاولى بدا تفوق ألمانيا في معظم فروع التقنيات ، عاملاً مهماً جداً ، سواء على الصعيد العسكري الخالص ام على صعيد تموين الشعوب المدنية . لقد اسندت ألمانيا إلى باحثيها مهمة حل العديد من المسائل العلمية والتقنية التي طرحتها متابعة العمليات الحربية ؛ وكان العلماء المعظام مثل الكيميائي فريتز هابر F. Haber يشرفون على هذه الاعمال .

وعلى اثر انتصار الحلفاء كان العلم الألماني في وضع أقل مستوى . ولكن الجامعات

ومراكز البحوث الألمانية سرعان ما استطاعت ان تستعيد نشاطها السابق وان تجتذب من جديد الباحثين من الشبان الاجانب .

لا شك ان المخبرات الألمانية ، وقد لقيت منافسة من قبل بعض الانجازات الغربية ، لم تنجح في استعادة تفوقها الساحق الذي كان لها قبل الحرب ، ولكنها عرفت رغم ذلك حقبة جديدة من التألق . في مجال الفيزياء بشكل خاص ، فإن مراكز مثل غوتنجن ، بمعاهدها الرائعة في الفيزياء تحت اشراف اساتذة عظام مثل جامس فرانك Franck وماكس بورن Born ، ومثل برلين Berlin ومعهداها ، معهد قيصر ويلهلم ، او مثل ميونخ وليبزغ وليتزغ استثنائيا .

ولكن في سنة 1933 كان لمجيء هتلر اثر عميق بصورة تدريجية للحريات الجامعية التقليدية ، في حين ضربت التدابير العرقية او هددت قسماً من الجهاز التعليمي . وبخلال بضعة اشهر ترك أكثر من ثلث الفيزيائيين الكبار المانيا للذهاب اما إلى الغرب واما في معظمهم إلى الولايات المتحدة . هذا النزف العنيف اقترن بهبوط مواز في اعداد الطلاب الاجانب . وسرعان ما منعت مناهج بحوث عديدة ، وتدهور الانتاج الاصيل بسرعة في بعض المجالات . وبعض العلماء امثال لينارد وستارك ابدوا هذه السياسة وحيا ومجيء العلم الأري الجديد . وبخلال هذه الحقبة ، وبخلال السنوات الخمس من الحرب العالمية الثانية حققت بعض مراكز البحث في المانيا ، رغم كل شيء ، اكتشافات مهمة خاصة في مجال الصواريخ وفي مجال الكيمياء الغذائية ولكن مجموعات البحث الحليفة ، الاغنى من حيث نوعية العلماء ، نجحت في أغلب الأحيان في التفوق على الالمان .

في اواخر الحرب كان العلم الالماني في مأزق ، بعد ان دمر معظم المختبرات أو تخرب بشكل خطير ، وبعد ان اختفى العديد من الباحثين ، الذين هجروا نهائياً أو استخدمتهم المرافق العلمية في الدول المنتصرة . وقسمت المانيا ، بحدود اخذت تتزايد قطيعتها فيما خص المبادلات الفكرية . ورغم ذلك ان اسناد جائزة نوبل في الفيزياء في سنة 1961 إلى ر . ل . موسبور ، وهو عالم شاب ابن اثني وثلاثين سنة ، تخرج سنة 1955 من المعهد التقني في ميونيخ ، يدل على قيامة سريعة .

في حين كانت البنية في الاجهزة العلمية ، في الجمهورية الديمقراطية ، قريبة من بنية الديمقراطيات الشعبية الاخرى ، مع دور قيادي ممنوح لأكاديمية العلوم في برلين الشرقية ، جهدت الجمهورية الفدرالية في اعادة تكوين وفي انعاش المؤسسات الاكثر فعالية في التنظيم القديم مثل : الجامعات ، ومعهد ماكس بلانك (الذي ضم بشكل خاص اليه معاهد كارل ويلهلم القديمة) ، اتحاد المتبرعين (Stifterverband) ، مختبرات الصناعة ، الخ . وعلى نفس الموازاة قامت اجهزة مركزية وتخطيطية وخاصة الجمعية الألمانية للبحث ، وكلفت بتنسيق جهود البحث وتقديم الاستشارة في هذا الموضوع الى الحكومة وإلى المؤسسات الكبرى .

المملكة المتحدة - ان التقارير العديدة حول التعليم والبحث العلمي المقدمة في انكلترا بخلال القرن التاسع عشر قد ركزت على التفوق البارز الذي حققته المانيا في هذا المجال ،

واسفت لقلة الاهتمام الذي تبديه الدوائر العليا البريطانية في هذا المجال بالنسبة إلى المسائل العلمية . الواقع انه ، في اواخر القرن التاسع عشر ، إذا كان التعليم العالي العلمي في انكلترا أقل تطوراً وأقل فعالية مما كان عليه في ألمانيا ، فإن تحسناً واضحاً قد حدث بفضل انشاء العديد من المؤسسات التعليمية ، وانشاء العديد من المراكز التي اجتذبت ، مثل « مختبر كافنديش » في كامبريدج ، العديد من الباحثين الاجانب من ذوي القيمة . بحلول السنوات الاولى من القرن العشرين ، استمرت هذه الحركة بفضل تطور الاجهزة القائمة ، مثل « ليسترانستيتيوت » و « ولكم ريزرش انستيتيوشن » ومثل المحطة التجريبية في رودامستيد ، ألخ ، وبفضل انشاء العديد من المختبرات الجديدة الملحقة بالجامعات أو بوزارات تقنية .

ان الجهد المبذول ، بخلال الحرب العالمية الاولى قد ابرز هذا الاتجاه ، وقد سجل المجلس الاستشاري (1915) مرحلة مهمة باتجاه تنسيق جهود البحث . وعملت الرغبة في منافسة المنشآت الالمانية الصناعية ، بعد الحرب ، على حمل الصناعات البريطانية الكبرى ، على المشاركة في نمو البحث التطبيقي . ان اهمية الدور الذي لعبه العلماء والتقنيون البريطانيون ، في الحرب العالمية الثانية في مجالات متنوعة مثل اختراع الرادار ، أو القنبلة الذرية ، أو التطبيق الاستطبابي للبنسلين ، قد اكدت فعالية سياسة علمية جيدة التأسيس ومزودة باعتمادات مالية مهمة . في الوقت الحاضر تعتبر انكلترا البلد الاوروبي الغربي الذي يكرس ، لهذا الشأن ، اكبر نسبة مثوية من موازنته الوطنية ؛ كما انه مزود بأجهزة تسيقية أكثر تميزاً وأكثر فعالية والنتائج الحاصلة في معظم قطاعات البحث الخالص والتطبيقي تعادل هذا الجهد المقرون بتوسيع مهم للتعليم العلمي .

فرنسا- في مطلع القرن العشرين ، باشر العلم الفرنسي بتقويم واضح خاصة بفضل العديد من الرياضيين والفيزيائيين الموهوبين ، وبفضل اقامة منشأة جديدة للبحث البيولوجي والطبي ، هي مؤسسة باستور . الا ان بعض العقبات ما زالت تكبح اتساعه ومنها : المركزية المفرقة في بنياته ، وعدم كفاية الدعم المادي المخصص للبحث .

ان الحرب العالمية في سنة 1914 ، حين كشفت بشكل عنيف عن تفرق الجهاز العلمي والتقني الالمني ، حملت السلطات العامة على الاهتمام بصورة أقوى بتنظيم البحث . ان بعض الاجهزة التي انشئت بهذه المناسبة بقيت بشكل جديد بعد اعلان الهدنة . ومع ذلك ليس الا في سنة 1936 ، تم بذل جهد واسع من قبل حكومة الجبهة الشعبية . وانشىء منصب امين دولة مساعد للبحث العلمي . وتحت ادارة جان بران وا . جوليت كوري وضعت هيكلية جديدة وتم تأسيس مركز وطني للبحث العلمي سنة 1938 .

ولكن الحرب العالمية الثانية وسنوات الاحتلال اوقفت عملياً هذا الجهد الذي لم يعد إلى النشاط الا سنة 1944 مع اعادة تنظيم المركز الوطني للبحث العلمي ، مع اعداد خطة شاملة للتجهيز . ومنذ ذلك الحين ، كان التقدم ثابتاً ، بفضل انشاء اجهزة جديدة مثل مفوضية الطاقة الذرية سنة 1948 ، وبفضل تحديث وتوسيع المنشآت القديمة ، ثم زيادة العون المالي من الدولة ،

إضافة إلى سياسة لامركزية تتزايد وضوحاً . هذا الجهد سرّعه سنة 1958 ، انشاء المندوبية العامة للبحث العلمي والتقني . وكلف هذا الجهاز في وضع الجرد المتواصل للطاقة العلمية الوطنية ، ويتبع ، بشكل دائم ، تطور العوامل التي تتحكم بالتقدم ، ثم تنسيق نشاط مختلف منشآت البحوث وتقديم الدعم المالي المتزايد لها ، من أجل انتقاء ومن أجل القيام بسلسلة من الاعمال المتفق عليها ، في البحث .

ورغم ان هذا الجهد الواسع يبقى غير كاف ، الا انه غيّر بعمق بنيت البحث في فرنسا وفتح التغلب على قسم من الحواجز التي تحدت نموه . ومن بين اهم اوجه الضعف الباقية ، تجب الاشارة الى نهضة بطيئة في بعض قطاعات البحث الصناعي وإلى المبلغ الضئيل جداً الذي يقدمه القطاع الخاص للبحث الاساسي .

البلدان المنخفضة ، بلجيكا وسويسرا - رغم عددهم الضئيل نسبياً ، نجح العلماء النزلنديون في اواخر القرن التاسع عشر في تحقيق اعمال اصيلة وعميقة من مجالات متنوعة جداً ، من مجالات العلم . وبعد ذلك بقي الانتاج العلمي في البلدان المنخفضة عند مستوى عال جداً ، مع الاخذ في الاعتبار ضيق رقعة الارض وهذه النتائج تعزى إلى نوعية التعليم العالي وإلى الدعم الدائم المقدم للبحث من قبل المؤسسات الصناعية الهولندية . فضلاً عن ذلك ، قامت لجنتان رسميتان الـ T. N. O التي انشئت سنة 1932 والـ Z. W. O التي انشئت سنة 1950 بمهام التنسيق على التوالي بين مجمل البحوث التطبيقية وبين مختلف قطاعات البحث الاساسي . وتشهد النتائج الحاصلة حديثاً بفضل العلم النزلندي في مجالات متنوعة ، كالحساب الاوتوماتيكي ، والفلك الاشعاعي والفيزيولوجيا النباتية باستمرارية هذا التراث المتميز بنوعيته .

أما النهضة العلمية في بلجيكا فقد ظهرت متأخرة وكانت اقل تنوعاً . الا ان القرن العشرين شهد قيام العديد من المختبرات الرسمية والخاصة . وفتح الصندوق الوطني للبحث العلمي البلجيكي المؤسس سنة 1928 ، والمعهد من أجل تشجيع البحث العلمي في الصناعة والزراعة (1944) والعديد من أجهزة تنسيق انشئت سنة 1959 ، مساعدة الجهد العلمي والتنسيق فيما بينه . ان تطور معاهد سولفاي Solvay قد ساهم ايضاً في تحسين التجهيز العلمي في البلد . ومنذ سنة 1911 ، جمعت مؤتمرات سولفاي الشهيرة في الفيزياء في بروكسل الفيزيائيين الاعظم في العالم كله . وبفضل المناقشات الخصبة التي اثاروها كان لهذه المؤتمرات تأثير عميق في تطور الفيزياء الجديدة .

وكالبلدان المنخفضة ، كان لسويسرا امتياز احتواء عدد ضخم من العلماء العظام في القرن العشرين . والسبب الرئيسي الذي يفسر هذا الامر هو المستوى العالي في التعليم الجامعي ، المحفوظ بفضل جغرافية استثنائية عند ملتقى المناطق الثقافية الالمانية والفرنسية والاطالية . هذا المستوى تشهد له شهرة بعض الجامعات أو المؤسسات امثال مدرسة البوليتيكنك الفدرالية في زوريخ . انما يجب ان نحسب حساباً ايضاً للدعم الثابت المقدم للبحث من قبل صناعة قوية ، ولتراث الليبرالي الذي جعل من سويسرا ملاذ العديد من المبعدين السياسيين ، ولحياد البلد الذي اتاح لها النجاة من حربين عالميتين . الا ان جهد التكيف بدا ضرورياً من أجل تذليل بعض

الحواجز الادارية امام المتطلبات الجديدة التي يقتضيها البحث العلمي والتقني .

أوروبا المتوسط - في مطلع القرن ، امتلكت إيطاليا عدة مدارس علمية ناشطة جداً ، متوجهة نحو مختلف فروع البحث . فالتحليل الوظيفي والجيومتريا الجبرية ، والميكانيك النظري والكهرباء الاشعاعية ، والجيوديزياء وعلم الهزات الارضية (سيسمولوجيا) ، وعلم البراكين ، وعلم الفلك الشمسي ، والفيزيولوجيا العصبية ، ودراسة الامراض الطفيلية ، هي بعض هذه المجالات التي نجح العلم الايطالي في القيام بها والحصول على متوجز اصيل . وعلى نفس الموازاة ، قامت ادارات بحوث جديدة ولمعت مثل الفيزياء النووية حيث تم الحصول على نتائج مهمة منذ سنة 1934 بفضل مدرسة انريكو فرمي في روما .

الا ان هذا النشاط لم يستمر بشكل دائم ، فقد عانت إيطاليا بقسوة من الحربين العالميتين . فضلاً عن ذلك لقد اجتازت مرحلة طويلة من النظام الدكتاتوري ، الذي رغم انه ساعد مادياً بعض فروع البحث العلمي والتقني ، الا انه حُد بصورة تدريجية من الحرية الفكرية عند الباحثين ، وحمل بعضاً منهم على الهجرة من وطنهم . ولهذا رأت المدرسة الايطالية اللامعة في الفيزياء النووية ، نشاطها يتراجع بسرعة على اثر ذهاب أ . سيغري وب . پونتيكورفو ، وأ . فرمي ، تبعاً إلى الولايات المتحدة .

وبعد الحرب العالمية الثانية ، عاودت البحوث بسرعة مسيرتها ، وتم انشاء العديد من المختبرات الجديدة ، في حين اعيد بناء المؤسسات القديمة أو وسّعت . ولكن في خلال السنوات الاخيرة فقط ، تم القيام بجهود خاص من اجل تغيير نمط بنات البحث العلمي ، الذي بدا مجمله كثير التعقيد ، ومركزياً بشكل غير كاف .

انشىء « المجلس الوطني للبحوث » سنة 1923 ، وهو المركز الرئيسي للبحث الاساسي . ومع تدخله مباشرة في انشاء وفي ادارة العديد من المختبرات ، فانه يهدف إلى تنسيق مجمل الفروع المتنوعة في البحث الخالص والتطبيقي . واحتفظت مراكز ومعاهد البحوث المضمومة إلى الجامعات بنوع من الاستقلالية ، خاصة عندما نجحت في الحصول على الدعم المباخر من الصناعة . وتلعب اللجنة الوطنية من اجل البحوث النووية ومعاهد البحوث المختلفة الملحقة بوزارات تقنية ، خاصة « المعهد العالي الصحي » النشط جداً ، ايضاً دوراً اساسياً في مجالات مختلفة . ولكن الخصوصية الاكثر اصاله في البحث العلمي في إيطاليا - على الاقل بالنسبة إلى بلدان أوروبا الاخرى الغربية - ضخامة البحث الصناعي ، والتعاون الوثيق القائم بين الجامعة والصناعة .

ومن الامثلة الاكثر دلالة على خصب مثل هذا التعاون هو انشاء فرع جديد حديثاً للكيمياء الجزيئية الكبرى (macro- moléculaire) ، ودراسة البوليمير التكتيكية ، المكثفات التراتية (ايزو- تاكتيك وسنديو- تاكتيك) وانعدام التراتية ، على اثر البحوث الجارية منذ سنة 1955 من قبل ج . ناتا وتلاميذه في مدرسة بولتكنيك في ميلانو ، بواسطة المساعدة المالية التي تقدمها مؤسسة صناعية مهمة . فضلاً عن اهميتها النظرية البالغة ، أتاحت هذه الاعمال ، التي ما تزال في اوج تطورها ،

انتاج العديد من انواع البلاستيك والأنسجة التركيبية الجديدة .

ويوغوسلافيا التي عرفت نهضة علمية مميزة نوعاً ما بين الحربين العالميتين ، عانت بشكل مأسوي من الحرب العالمية الثانية . وقد استوحى بآن واحد ، من المثل السوفياتي ومن التجارب الغربية ، فتبعت سياسة ناشطة في مجال النمو العلمي والتقني إلى اقصى حدود إمكاناتها .

ورغم الجهود الأكيدة ، انما غير المنسقة بشكل كاف ، لم تستطع اليونان ان تكيف مجمل تجهيزاتها العلمية لتتماشى مع متطلبات العلم الحديث .

اما اسبانيا والبرتغال ، فرغم النجاحات غير المتكورة ، خاصة في مجال الطب والفيزيولوجيا ، فقد بقيتا في موقع أقل حظاً من الأمم المجاورة . إلا أن المجلس الأعلى للاستقصاءات العلمية في مدريد قد بذل جهداً تنسيقياً وتوسعاً علمياً اخذت نتائجه تظهر .

البلدان السكندنافية - كما هو حالها في اواخر القرن التاسع عشر استمرت البلدان السكندنافية تحتل مكانة مشرفة جداً في مسار التقدم العلمي . ان نمو منشآت التعليم العالي واجهزة البحث بآن واحد هو نتيجة جهد دائم بذلته السلطات العامة بالتعاون الثمين مع المؤسسات الصناعية والمؤسسات الخاصة مثل مؤسسة كارلسبرغ ومؤسسة نوبل . فضلاً عن ذلك أن سمعة بعض العلماء امثال ن . بوهر وه . فون اولر وآ . تيسيليوس حملت العديد من الباحثين الاجانب على اجراء تدريباتهم في مؤسسات البحوث الموضوعة تحت اشرافهم ، واخيراً وبفضل ان جوائز نوبل في الفيزياء والكيمياء تعطى على مسؤولية الاكاديمية الملكية للعلوم في السويد ، وجوائز نوبل للطب والفيزيولوجيا يعطيها المعهد الطبي الجراحي « كارولين » في ستكهولم ، فقد ساعد كل هذا حتماً في تقوية قيمة البحث العلمي في البلاد الشمالية .

أوروبا الوسطى - حتى سنة 1919 ، كان معظم بلدان أوروبا الوسطى في وضع سياسي قلما يساعد على قيام حياة علمية ناشطة ومعظم علماء هذه البلدان من ذوي القيمة ، انضموا إلى المجموعة القوية التي تتكلم الالمانية او ارتحلوا عن أوطانهم . وبعد اعلان الهدنة ، فان الاتصالات الوثيقة التي قامت بينهم وبين الأوساط العلمية في الغرب قد أتاحت تطور ونمو التعليم العالي ونشاطات البحوث ⁽¹⁾ . الا ان تطور معظم هذه البلدان واتجاهها نحو النظم التسلطية حدّ من هذه الحركة التوسعية . وحدها تشيكوسلوفاكيا ، بقيت حتى سنة 1938 على النظام الديمقراطي ، فاستطاعت ان تتبع مسار البلدان الاكثر تطوراً . وقطعت الحرب العالمية الثانية بعنف هذه الجهود التي عاودت نشاطها من جديد فيما بعد على امس مختلفة . فبعد انتقالها إلى منطقة النفوذ الثقافي السوفياتي ، اعادت الديمقراطيات الشعبية تنظيم تعليمها وتنظيم مؤسساتها

(1) نذكر بشكل خاص المدارس المشرقة الرياضية التي بُنيت في رومانيا وخاصة في بولونيا . اما هنغاريا ، فقد ولدت عدداً استثنائياً من العلماء العظام هاجر معظمهم الى خارج وطنهم . نذكر فقط اسماء العالمين الرياضيين ف . رايزوج . فون نيومان ، ومن الفيزيائيين ل . زيلارد وآ . تئّر ، ومن البيوكيميائيين ل . زكميسر وآ . زنت - جيورجي ، والكيميائي ج . فون هيفي .

للمحور وفقاً لبنية شبيهة بالبنية المعتمدة في الاتحاد السوفياتي . وبالمقابل حاولت النمسا ان تكيف مع احتياجاتها ومع امكاناتها طرق التنظيم المعتمدة في الغرب .

* * *

ان أوروبا الغربية ، كممكن للعلم الحديث ، كانت ما تزال في قمة التقدم العلمي في مطلع القرن ، وهي تبدو اليوم مسبوقة قليلاً من قبل بعض المختبرات القوية الاميركية والسوفياتية .

من المؤكد ان الخسارة في الارواح البشرية ، والدمار والانقلابات السياسية والاقتصادية والاجتماعية التي ادت اليها حربان طويلتان قد بَطَّأت واعاقت مسار التقدم . ومن المؤكد ايضاً ان العديد من العلماء الاعلام ، قد هاجروا ، لاسباب متنوعة ، الى الولايات المتحدة ، مما افقر بالتالي وإلى حد كبير ، الطاقة العلمية الاوروبية . وليس من المنكور القول اخيراً بان نمو البحث العلمي الحديث يتطلب ، في بعض المجالات، وسائل مادية ومالية تستطيع تأمينها فقط الدول الكبرى .

ولكن مجمل وضع أوروبا على الصعيد العلمي اقل ظلاماً مما يوحي به التفوق الحالي لأميركا وللاتحاد السوفياتي . الواقع ان العلماء الأوروبيين ما يزالون يلعبون دوراً خاصاً في تطوير الكثير من المجالات . فضلاً عن ذلك ان معظم البلدان الاوروبية قد اتبع سياسة علمية سوف تظهر نتائجها الخصبة في وقت قريب . واخيراً سوف تتيح انجازات جماعية اتخذت على الصعيد الاوروبي مثل المجلس الاوروبي للبحوث النووية (C. E. R. N) والاوراتوم والمنظمة الاوروبية للبحوث الفضائية ، للامم الاوروبية ان تنافس ، في مستقبل قريب ، العملاقين في مجال البحث العلمي الحديث .

مراجع الفصل الأول

P. AUGER, *Tendances actuelles de la recherche scientifique*, Unesco, 1961; *Angewandte Forschung in der Bundesrepublik Deutschland*, Wiesbaden, 1958; D. S. L. CARDWELL, *The Organisation of Science in England*, Londres, 1957; *L'organisation du progrès scientifique en Grande-Bretagne*, Londres, 1961; P. FIGANIOU et L. VILLECOURT, *Pour une politique scientifique*, Paris, 1963; A. J. BARNOW et B. LANDHEER, éd., *The Contribution of Holland to the Sciences*, New York, 1933; E. FUETER, *Grosse Schweizer Forscher*, Zurich, 1934; L. SILLA, éd., *Un secolo di progresso scientifico italiano*, 7 vol., Rome, 1939-40; *Il Consiglio Nazionale delle Ricerche*, Rome, 1954; S. LINDROTH, *Swedish men of science*, Stockholm, 1958; W. MEISEN, *Prominent Danish scientists*, Copenhagen, 1939; *Nobel. The Man and his Prizes*, Amsterdam, 1962.

العلم والحياة في الاتحاد السوفياتي

لقد رسمنا في المجلد السابق الشروط الاجتماعية لنمو العلم في روسيا قبل الحرب العالمية الاولى . وقد حدث تحول جذري سنة 1917 ، بعد الثورة الاشتراكية الكبرى في اكتوبر . وكانت الظروف الاجتماعية الجديدة تساعد على نمو العلم الذي تصاعد مترافقاً مع التقدم الصناعي والثقافي في البلد .

ان المهمات الكبرى في الاقتصاد الوطني بعد 1917 قد وضع صيغتها ف.إ. لينين، في «رسيمات خطة الأعمال العلمية والتقنية» (1918) . وكان المهم قبل كل شيء التنبؤ بتوزيع عقلائي للصناعة على أرض الوطن ، ثم خلق ظروف تؤمن تموينها بالمواد الأولية الأساسية . وتم توجيه اهتمام خاص نحو كهربة الصناعة ، والنقل والزراعة ، واستعمال القوة المائية والمحركات الهوائية ، على أن تتم خطة كهربة الاقتصاد الوطني ، المعتمدة سنة 1920 ، بخلاف عشر إلى خمس عشرة سنة ؛ وقد تم تجاوزها في حوالي سنة 1935 .

وفي الثلاثينات، كانت البلاد مزودة بصناعتها الذاتية فيما يخص الطيران والسيارات . فقد تم التوصل الى انتاج موتورات كهربائية ، ومحطات تلغراف لاسلكي وزجاج ابصاري ونشآت صناعة كيميائية حديثة .

خلقت هذه الانجازات الصناعية الشروط لنمو العلوم التجريبية ، ان الصفة التخطيطية للاقتصاد السوفياتي الاشتراكي قد اتاحت تحقيق نمذجة الانتاج ، على مستوى عالٍ وواسع ، فيما يخص الاجهزة والادوات العلمية ، ومن اجل بلوغ درجة عالية من الكمال ، خاصة في السنوات العشر الاخيرة على اثر تقدم علم الاتمته والمكنة .

وكان النمو السريع في مختبرات المصانع احد السمات المميزة للعلاقة الحميمة بين العلم والانتاج . فقد قام العديد من المؤسسات الصناعية بانشاء نظام كامل للدروس ، وللمدارس ، ثم تحولت الى نوع من المركب التعليمي باسم مصانع - جامعات .

ان الشبكة الكثيفة من المؤسسات العلمية المتخصصة ، وكذلك العمل الواسع في البحث

المحقق من قبل منشآت التعليم الرئيسية ، ومن قبل الجمعيات العلمية ، ومباشرة في المصانع لا يمكن ان يقارنا بالتجهيز العلمي التافه في روسيا القيصرية .

فمنذ سنواتها الاولى عمدت السلطة السوفياتية الى انشاء معاهد للبحوث ، وهي اشكال من التنظيم لم تعرفها روسيا القديمة .

وفي سنة 1918 تم تأسيس معهد الفيزياء والمعهد المركزي للقوى الهوائية والمائية المتحركة (كاهي CAHI) في موسكو ، ومعهد الابصار في لينينغراد . وكان اول مدير للكاهي هونيكولا جوكوفسكي N. Joukovski ، الذي سماه لينين (اب الطيران الروسي) ؛ وكان تلميذه الشهير س . تشابليغوين Tchaplyguine خليفته . ومن سنة 1918 الى 1920 تم تجهيز المختبر الكيميائي المركزي التابع للمجلس الاعلى للاقتصاد الوطني ؛ وقد اصبح هذا المختبر اليوم معهداً فيزيائياً كيميائياً كبيراً . في سنة 1921 ، وبناءً على مبادرة من الاكاديمي ف. آ. ستكلوف Steklov ، وكان رياضياً مميزاً ، تم تأسيس المعهد الفيزيائي الرياضي التابع لأكاديمية العلوم ، في لينينغراد . وفيما بعد قسم هذا المعهد الى ثلاثة معاهد مستقلة يحمل احدها اسم مؤسسه .

وأصبح التعليم ديمقراطياً على نطاق واسع . واصبح التعليم العالي في متناول مختلف طبقات المجتمع . ومن اجل التسريع في تأهيل المثقفين الجدد ، نظمت « الكليات العمالية » (رابفاكس rabfaks) وهي مدارس اعدادية للعمال ولللاحين الذين لم يصلوا الى الدراسات الثانوية . واصبحت هذه المدارس عديمة الفائدة بعد 1930 ، وذلك بعد ان انتشر التعليم الثانوي انتشاراً واسعاً ، وازداد عدد مؤسسات التعليم العالي من مئة وخمس مؤسسات سنة 1914-1915 الى 739 مؤسسة سنة 1960-1961 ، وارتفع عدد الطلاب من مئة وسبعة وعشرين ألفاً الى مليونين و 396 ألفاً .

وانشئت في كل جمهوريات الاتحاد السوفياتي جامعات كان التعليم فيها يجري باللغة الام بالنسبة الى السكان . في حين ان كازاخوستان واوزبكستان ، وكيرجيزيا وتادجيكستان وتركمانيا لم يكن لديها قبل الثورة لا مدارس عليا ولا حتى مدارس تقنية . في سنة 1960-1961 بلغ عدد طلاب المدارس العليا في هذه البلدان 229 ألفاً ، 181 ألفاً في المدارس الخاصة اي ما يعادل 88 و 70 تلميذاً في كل 10000 نفس 'وسطياً' . اما جورجيا التي لم تكن تمتلك جامعة قبل الثورة ، ففيها الآن 18 مدرسة عليا و 179 مؤسسة للبحث العلمي .

ان توزيع مؤسسات البحث ، والكادرات العلمية قد تغير تماماً . فقد تم انشاء العديد من المعاهد أو الفروع ، والمحطات ، والمختبرات الصناعية والريفية في المناطق المناجمية ، وفي المراكز الصناعية الجديدة وفي المناطق الزراعية .

وبناءً عليه ، في سنة 1918 تم انشاء مختبر الراديو في نجني - نوفغورود (غوركي) حيث عقد سنة 1922 أول مؤتمر راديو تقني . في حين قبل سنة 1917 لم يكن لدى هذه المدينة لا جامعة ولا مركز بحث ، اما اليوم فهي تمتلك جامعة وعدداً كبيراً من المدارس العليا (بوليتكنيك ، طب ،

تربية، الخ) ، ومعاهد للبحث ، ومختبرات ، الخ . ان القرية الصغيرة المسماة كوزلوف Kozlov (وهي اليوم تدعى ميتشورنسك Mitchourinsk) في حكومة تامبوف Tambov ، قد تحولت الى مركز مهم لانتقاء ولندجين الشجيرات والاشجار المثمرة .

وتم انشاء مراكز علمية في المناطق الشمالية القصوى . في سنة 1932 كان معظم مؤسسات اكاديمية العلوم في الاتحاد السوفياتي موجوداً في موسكو وفي لينينغراد . وابتداء من هذا التاريخ بدأت الاكاديمية تفتح فروعاً لها في مختلف اجزاء البلاد (الشرق الاقصى ، مناطق الاورال ، الخ) .

من جراء هذا ارتدت البعثات العلمية مظهراً جديداً . من قبل كانت الرحلات نادرة يقوم بها علماء من العاصمة ، أو من المراكز الجامعية الاخرى باتجاه الاقاليم البعيدة . اما اليوم فهناك سعي لاقامة تعاون مستقر بين الباحثين من مختلف الاختصاصات القاطنين في مختلف ارجاء البلاد .

وتم الحفاظ على الاحتياطات الطبيعية - وخاصة احتياطي دولة استراخان ، واحتياطي ايلمين في الاورال ، وقد تم انشاؤهما سنة 1919 - وقد اصبحت هذه الاحتياطات الطبيعية مراكز ناشطة للبحوث البيولوجية .

واستغنت امكانات الرصد الفلكي كثيراً بفضل بناء مراصد جديدة ، مزودة بمعدات ممتازة وموزعة في مختلف جمهوريات الاتحاد ، خاصة في المناطق الاكثر ملاءمة من الناحية المناخية والانوائية مثل : جزيرة القمر ، وارمينيا وجيورجيا وكازاخستان ، الخ . ان الشبكة الرصدية قد امتدت ايضاً كما تم انشاء العديد من المحطات في الزوايا الاكثر بعداً في البلاد .

واصبحت أكاديمية العلوم ، خاصة بعد نقلها من لينينغراد الى موسكو سنة 1934 ، المركز الرئيسي العلمي في كل الاتحاد السوفياتي . والحقت بها غالبية الجمعيات العلمية الكبرى التي كانت موجودة من قبل (الجغرافية ، الفيزيائية الكيميائية ، والفلكية) ، وكذلك عدد كبير من الجمعيات الجديدة .

وتم انشاء عدد كبير من الاكاديميات في الجمهوريات المتحدة باعتبارها فروعاً من اكاديمية العلوم في الاتحاد السوفياتي وفي الوقت الحاضر ما تزال مثل هذه الاكاديميات العلمية موجودة : في أوكرانيا (1919) ، وفي بيلوروسيا (1929) ، وفي ليتوانيا (1941) ، وفي جيورجيا (1941) ، وفي ارمينيا (1941) ، وفي اوزباكستان (1943) ، وفي أذربيجان (1945) ، وفي ليتوانيا سنة (1946) ، وفي استونيا (1946) ، وفي كازاخستان (1946) ، وفي تاجيكستان (1951) ، وفي تركمانيا (1951) ، وفي كيرجيزيا (1954) ، وفي مولدايا (1961) .

واعتبر تأسيس الفرع السيبيري لأكاديمية العلوم سنة 1958 في نوفوسيبيرسك Novosibirsk حدثاً مهماً . فهذا الفرع يتضمن 40 مؤسسة علمية في نوفوسيبيرسك ، وفي إيركوتسك Irkutsk ، الخ . وهو على اتصال دائم مع جامعة نوفوسيبيرسك ، المنظمة حديثاً .

هذا المركز الجديد المهم علمياً هو في مشرق الاتحاد السوفياتي ، ويشرف على ادارته

الأكاديمي م. آ. لافرتيف، وهو متخصص عظيم في مادة الرياضيات الخالصة والتطبيقية؛ وهو يعالج منذ الآن برنامج عمل واسع. وهكذا فإن القسم من علوم الفيزياء الرياضية، الذي يضم بين معاونيه العديد من العلماء من المرتبة الأولى، وضع ضمن مخطط عمله حوالي 60 مسألة.

إن أكاديمية العلوم في الاتحاد السوفياتي توجه البحوث الأكثر أهمية في مجال العلوم الطبيعية والاجتماعية، بالاتصال مع مؤسسات علمية أخرى مثل أكاديميات الجمهوريات المتحدة، والأكاديميات المتخصصة: العلوم الزراعية (المؤسسة سنة 1929)، العلوم الطبية (1944)، العلوم التربوية (1943)، وكذلك العديد من المعاهد ومن المدارس العليا التابعة للوزارات. وفي سنة 1961 تم إنشاء لجنة خاصة لدى مجلس الوزراء في الاتحاد السوفياتي، من أجل تنسيق البحوث بين كل هذه المؤسسات.

يوجد اليوم في الاتحاد السوفياتي ما يقارب من 4200 منشأة علمية (منها 1830 معهد بحوث) وأكثر من 400000 عالم في حين أن روسيا القديمة قلما كان لديها أكثر من عشرة آلاف عالم.

إن مثل هذه الزيادة العددية لم تكن لتحصل إلا بفضل النمو وبفضل تطوير التعليم العالي. فبذات الوقت الذي كان يتم فيه تأسيس جامعات جديدة، كان يعاد النظر في كل شيء في المراكز القديمة. وعلى هذا فبين 1949 و1953، استكملت أقدم جامعة روسية، جامعة موسكو، ببنية جديدة تضمنت 148 قاعة درس وأكثر من ألف مختبر علمي مزودة بأجهزة متناهية الحداثة (تجهيزات الكترونية، أدوات إبصارية خاصة، أجهزة أشعة X، غرف لدراسة الانعكاسات المشروطة، تفاعليات ايضية، الخ).

وداخل المدارس العليا ومعاهد البحوث، هناك مراكز خاصة انشئت للطلاب، الذين بعد انتهاء دراساتهم العادية، يتابعون طيلة ثلاث سنوات في التخصص في مجالات معينة بتحضير أطروحة «توشيح في العلوم»، والمرتبة العليا هي مرتبة دكتوراه. في سنة 1961 كانت روسيا تعد 11300 دكتور و102500 مرشح منهم عدد من النساء، في حين كانت الطالبات العلميات نادرات جداً في الحقبة القيصرية.

ولا يمكن اغفال الدور المهم الذي يلعبه في الحياة العلمية المعهد الكبير، معهد التوثيق العلمي والتقني، الذي أسس سنة 1952، داخل أكاديمية العلوم. وتدون مجلاته الشهرية وتحلل الكتابات العديدة التي تصدر في الاتحاد السوفياتي وفي الخارج.

إن النمو العديدي والاتساع الجغرافي في المنشآت العلمية أتاح تحقيق مجموعات دراسات متخصصة مكرسة لوصف الثروات الطبيعية في الاتحاد السوفياتي: النباتات (ابتداء من سنة 1934)، الحيوانات (ابتداء من سنة 1935)، جيولوجيا، الخ. في حين كانت الكشفوف الجيولوجية في سنة 1917 مقصورة فقط على 10,25% من التراب الوطني، في سنة 1945 بلغ هذا المعدل المثوي 72,8.

لقد تحقق عمل ضخم من أجل دراسة ومن أجل تقييم القطب الشمالي، والتدابير الرئيسية

في هذا المجال كانت تأسيس معهد القطب الشمالي (1925) ، ثم تجهيز المحطة القطبية الأبعد شمالاً في العالم في جزيرة رودولف (1933) ، ثم استثمار الطريق البحري الشمالي (1932-1935) ، التشطيط على ركيزة في المحطة القطبية « القطب الشمالي » 1937-1938 ، انحراف كاسحة الجليد سيدوف من بحر لابتيف نحو بحر غرونلاند (1937-1940) ، أعمال المحطات العلمية « القطب الشمالي رقم 3 » و « القطب الشمالي رقم 4 » ابتداء من سنة 1954 .

وضمن نفس سياق الأفكار ، تجب الإشارة الى البحوث المحققة بخلال السنوات الاخيرة ، في القطب الجنوبي ، في اطار اعمال السنة الجيوفيزيائية الدولية .

كل هذه التجديدات التقنية ، التي جرت على اساس عريض نظري ، قد اغنت العلوم باكتشافات جديدة ومهمة ، وقد ساعدت على تشكيل وعلى نمو فروع جديدة في الرياضيات ، وفي الميكانيك وفي الفيزياء وفي الكيمياء . ويمكن ان نذكر كمثال المدرسة الهوائية المائية الديناميكية لـ جوكوفسكي وتشابليغوفين ، التي حلت عدداً كبيراً من المسائل النظرية المهمة . مع مشاركتها بشكل فعال جداً بتقدم الطيران .

ومن بين ممثلي هذه المدرسة نذكر رئيس اكااديمية العلوم لسنة 1961 م . ف . كلديش Keldych ، وس . آ . كريستيانوفيتش Christianovitch . ان بحوث س . ل . ماندلستام Mandelstamm ، ون . د . بابالكسي Papaleksi ، وآ . آ . اندرونوف Andronov ، في مجال الذبذبات غير الخطية أدت إلى تجديدات مهمة في التقنية الاشعاعية . ان الأعمال الأساسية التي قام بها آ . ف . يوفي Ioffé المكرسة للموصلات النصفية قد وجدت لها تطبيقات عدة تقنية . يجب ان لا ننسى ان كل هذه الاسماء ترمز الى مجموعات كاملة وإلى مدارس من الباحثين المنصرفين الى نفس المهمة .

وهكذا اذن ، وعلى موازاة حل المسائل الكبرى ذات الاهمية العملية ، حقق العلماء السوفيات نجاحات ضخمة في المجالات الأكثر تنوعاً في العلم النظري . وعدا عن الاعمال المهمة التي قام بها الرياضيون ، يمكن ذكر اعمال علماء الفلك في مادة علم الكون وعلم نشأة الكون (كوسموغوني) ، واعمال الفيزيائيين في دراسة المسائل الاساسية في نظرية النسبية وفي الميكانيك الكمي .

وكذلك في مجال العلوم البيولوجية ، الى جانب التجارب الواسعة في مجال الاقلمة ، وادخال زراعات جديدة ، ورفع المردود الزراعي ، وابتكار اشكال جديدة من النباتات والحيوانات ، عكف العلماء على دراسة مسائل اصل الحياة ، والوراثة وتشكل الانواع ، الخ .

وفي مجمله تميز نمو العلم في الاتحاد السوفياتي بخلال الـ 45 سنة الأخيرة ، بخلاف حاله في الحقب السابقة ، بدراسة كل المسائل العلمية الحديثة على المستوى الواسع ، وبتزايد عدد الباحثين بسرعة كبيرة . واذا كانت الاكتشافات الكبرى ، في الماضي ، من صنع الافراد (يكفي التذكير بمثل لوباتشفسكي Lobatchevski) ، أو من صنع مجموعات صغيرة من العلماء ، فانا ،

في الوقت الحاضر ، وفي كل الفروع العلمية تقريباً ، نجد مدارس ناشطة واتجاهات ، تدل على وجود تراث علمي متين .

نذكر - على سبيل المثال - في الرياضيات المدارس الكبرى في نظرية الدالات (ن . ن . لوسين Lusin) والطوبولوجيا (پ . س . الكسندروف ، ل . س . پونترياغين Pontriaguine) ، والنظرية البناءة للدالات (س . ن . برنشتين) ، ونظرية الاعداد (ي . م . فينوغرادوف Vinogradov) ، ونظرية الاحتمالات (آ . ن . كولموغوروف) ، ونظرية المعادلات التفاضلية (ي . ج . بتروفسكي وس . ل . سوبوليف) ، والتحليل الدالي (ج . م . غلفاند Guelfand) ، والمنطق الرياضي (پ . س . نوفاكوف ، آ . آ . ماركوفا الابن) . ان ضخامة البحوث الرياضية يمكن ان تتوضح برقمين : يذكر الاحصاء (غير المكتمل) للكتابات المنشورة بين سنة 1917 و 1957 ، 22000 عمل صادر عن 3600 مؤلف .

في مجال الفيزياء النظرية ، يكفي ان نذكر المدارس العاملة في مجال نظريات الفيزياء النووية (ي . آ . تام Tamm) ، ونظرية الجزيئات الأولية (ل . د . لاندو) ، والفيزياء الاحصائية (ن . ن . بوغوليوبوف Bogoliubov) ، وفي النظرية الكمية للحقل (ف . آ . فوك) .

وفي مجال الفيزياء التجريبية ، اشتهرت بشكل خاص مدارس پ . ل . كاپيتسا Kapitsa (الظاهرات في درجات الحرارة المنخفضة جداً) ، ي . ف . كورتشاتوف Kourchatov (الفيزياء النووية) وس . ل . فافليوف Vavilov (دراسة اللعنان) .

في الكيمياء نلحظ مدارس ن . د . زيلنسكي Zelinski وآ . ن . نسيميانوف Nesmeianov (الكيمياء العضوية) ، ون . س . كورناكوف Kournakov (تحليل فيزيائي كيميائي) . ون . ن . سيمينوف Semenov (الحركية الكيميائية) . في مجال العلوم البيولوجية ، كان لمدرسة ي . پ . پافلوف Pavlov ، « وللتوجيه الميثشوري » شهرة كبيرة .

وتشكلت مدارس عديدة في الجمهوريات المتحدة . نذكر كمثال مدارس الباتو - فيزيولوجيا عند آ . آ . بوغومولتسز Bogomoletz ، والبيوكيميائي آ . ف . بالادين Palladine والعالم بالبصريات ف . پ . فيلاتوف Filatov في اوكرانيا ، ومدرسة ف . آ . امبرسوميان Ambartsoumian (علم الفلك النجمي) في ارمينيا ، ومدرسة ن . ي . موسكيليشفيلي (نظرية المطاطية ، والمعادلات التكاملية) في جورجيا .

لقد وجهت الحرب العالمية الثانية ضربة قاسية جداً إلى نمو العلم . ولكن ، بعد نهاية هذه الحرب بقليل ، تمت اعادة انشاء العديد من المؤسسات العلمية ، وبالوقت ذاته تم تأسيس معاهد جديدة ، أو اكاديميات .

وعالجت بعض الاعمال الحديثة بنجاح المسائل المطروحة ضمن فروع جديدة مثل السبيرنتية ، وصنع الحاسبات الالكترونية .

ومن بين أهم الانجازات في العلم السوفياتي ، في الازمنة الاخيرة ، يجب ذكر التحكم بالطاقة الذرية . ان اول مركز صناعي يعمل بالطاقة الذرية قد دخل مجال الخدمة في دوتنا سنة 1954 . وفي كانون اول سنة 1959 أطلقت سفينة « لينين » وهي اول كاسحة جليد ذرية في العالم ، من لينينغراد .

ونجد شهادة اخرى رائعة تدل على نمو العلم في الاتحاد السوفياتي ، من خلال اطلاق اقمار صناعية وصواريخ كونية ، وكذلك اعمال البحوث التي امكن تحقيقها . اطلق اول قمر صناعي وزنه 83,6 كيلوغرام ، في 4 تشرين اول سنة 1957 . بعد ذلك بقليل (في تشرين ثاني) وضع في مدار الارض قمر صناعي ثان يبلغ وزنه 508,3 كيلوغرام يحمل كائنا حياً هو الكلبة لاكا Laika ، ومجهز بأجهزة أكثر اكتمالاً . اما القمر الثالث فقد اطلق في 15 أيار سنة 1958 . وفي 2 كانون الثاني 1959 أطلق أول صاروخ كوني أصبح أول قمر صناعي يدور حول الشمس . والصاروخ الثاني الذي أطلق في 12 أيلول 1959 وصل الى سطح القمر . ويفضل مدارية الصاروخ الثالث المزود بمحطة بين الكواكب ، اوتوماتيكية ، تم بنجاح ، ولاول مرة في 4 تشرين اول 1959 تصوير السطح غير المرئي من القمر . ولتحقيق هذا ، كان من الواجب اعطاء الصاروخ الأخير سرعة تقارب 11 ألف متر في الثانية ، مع دقة تعادل 5 أمتار في الثانية ، ثم تثبيت الاتجاه الاساسي بدقة تبلغ عدة دقائق زاوية . وفي 12 شباط 1961 أطلقت محطة فضائية اوتوماتيكية باتجاه الزهرة . وانتهت سلسلة التجارب المنهجية بواسطة المركبات سبوتنيك (والتي بدأت في 15 أيار سنة 1960) وتوجت بأول رحلة فضائية حول الأرض حققها يوري غاغارين Youri Gagarine في 12 نيسان 1961 . وتلت هذه الرحلة رحلة هـ . تيتوف Titov الذي دار في 6-7 آب 1961 أكثر من 17 دورة حول الأرض بخلال خمس وعشرين ساعة . وبين 11-15 آب 1962 حقق أ . نيكولايف Nicolaev وب . بوبوفيتش Popovitch طياراً مزدوجاً في الفضاء ، عندما دار الاول أكثر من 64 دورة حول الأرض بخلال 95 ساعة والثاني 48 دورة في 71 ساعة . ان كل هذه النجاحات التي حققها العلم والتقنية الاشتراكيين نتجت عن الجهد الجماعي للعلماء والمهندسين والعمال في الاختصاصات الأكثر تنوعاً بإشراف الحكومة السوفياتية .

مراجع الفصل الثاني

- Bolschaia Sovietskaja Entsiklopedia* («Grande Encyclopédie soviétique»), t. 50, S.S.S.R. («U.R.S.S.»), 2^e éd., 1957, XV: *Nauka i nauchnyé outchrejenia* («La science et les institutions scientifiques»), pp. 430-507; bibliographie, pp. 507-510; *Ludi rossijskoj nauki* («Les grands savants russes»), *Matematika, Mekhanika, Astronomija, Fizika*, Moscou, 1961; *Geologija, Geografija*, Moscou 1962; *Matematika v SSSR za sorok let* («Mathématiques en U.R.S.S. pendant les quarante dernières années») t. I et II, Moscou, 1959.

الفصل الثالث

العلم في الولايات المتحدة في القرن العشرين

السمة الأبرز في العلم الأمريكي ، بخلال القرن العشرين هي ضخامة اتساعه ، من حيث حيويته ومن حيث نوعيته . وإذا كان من نافل القول اليوم اعتبار الولايات المتحدة كاحدى الدول التي تشارك أكثر من غيرها في تطور العلوم الاساسية ، فان هذا الواقع قلما كان متوقعا منذ قرن فقط .

كان جوزف هنري - وهو احد العلماء النادرين من الاميركيين العظام في القرن الماضي - على حق حين تأسف لكون الولايات المتحدة « رغم امتيازها في تطبيق العلم على الفنون الحياتية التطبيقية ، فان القليلين من علمائها ، يكرسون انفسهم للعمل الدؤوب وللجهد الصابر ، الجهد الفكري الضروري لاكتشاف ولتحقيق حقائق جديدة » .

ان التغير الكمي والنوعي الحاصل في العلوم الاميركية قد تكشف عبر عناصر متنوعة . فعدد الاشخاص الذين دخلوا في مجال البحث العلمي الخالص والتطبيقي بتزايد بما يعادل 6% كل سنة - وكانت التوقعات ان يصل عدد العلماء الى مليونين ونصف في سنة 1970 - في حين ان العدد العام للعمال لا يزيد الا بمعدل 1.4% في السنة . وعدد العلماء والمهندسين من مستوى الدكتوراه ارتفع من حوالي 4 الاف في سنة 1900 إلى 87 ألفاً سنة 1960 ويبدو انه بلغ 168 ألفاً سنة 1970 مما يدل على نمو يعادل 7% في السنة . ويذكر ان هذه النهضة لم تتم على حساب مجالات اخرى في الثقافة ، إذ أنه ما بين 1914 و 1959 ارتفع المعدل المثوي لشهادات الدكتوراه (Ph. D) الممنوحة في العلوم ، من 48 إلى 57 بالمائة فقط .

هذا التزايد في عدد المشتغلين بالعلوم قد اقترن بزيادة في عدد أعضاء الجمعيات العلمية وبزيادة منتظمة في عدد التجمعات .

قامت « الجمعية الاميركية لتقدم العلم » بمحاولة تشكيل اتحاد من هذه الجمعيات العلمية الوطنية : فمن سنة 1948 إلى سنة 1955 ارتفع عدد هذه الجمعيات المتسبة إلى الـ A. A. A. S. من 208 إلى 265 . وفي سنة 1961 كان هناك ما يقارب من مليوني شخص قد انتسبوا إلى الـ A. A. S. ، مما جعل هذه المؤسسة الأوسع والأهم في المنظمات العلمية الدولية .

وعدد المنتسبين الفرديين إلى A. A. A. S. هو مؤشر على تطور المهن العلمية في الولايات المتحدة . عند تأسيسها كانت الـ A. A. A. S. ، في سنة 1848 ، تضم 461 عضواً . وفي عيدها الخمسين كانت تضم الفين . وبعد ذلك بتسع وعشرين سنة ، في برهة دخول الولايات المتحدة في الحرب العالمية الاولى قارب هذا العدد تسعة آلاف . وبعد ذلك أخذ يتسارع هذا النمو : وفي سنة 1948 بلغ العبد 42 ألف عضو فردي ثم 60 ألفاً في سنة 1960 .

واكدت دراسة تناولت نمو 60 مؤسسة علمية رئيسية وتقنية اميركية بخلال الثلاثين سنة الماضية ، هذه الملاحظة ودلت انه بخلال هذه الحقبة تزايد عدد اعضائها بمعدل 8% في السنة . وتدل الجمعيات المتخصصة في الفيزياء والالكترونيك على نمو أسرع ، إذا تضاعف عدد المنتسبين اليها ستة اضعاف ، في حين ان معدل التزايد في الشركات الاخرى العلمية لم يتجاوز 3,5 بالمئة .

وهناك عناصر أخرى يجب اخذها في الاعتبار ، فقبل الحرب العالمية الثانية كان معظم الفيزيائيين يعملون في التعليم وفي البحث الجامعي ، وكان اقل من ثلث حاملي الدكتوراه في الفيزياء يتوجهون نحو المختبرات الحكومية أو الصناعية . وبعد الحرب أخذ الوضع يتغير بشكل محسوس واخذ معظم الفيزيائيين المتخرجين حديثاً يكرسون كل وقتهم للبحث العلمي في مختبرات الدولة أو الصناعة . وحدث تغير مشابه ، وان كان اقل وضوحاً في كل مجالات العلم .

وهناك واقع اكثر تميزاً ايضاً هو التنامي السريع للنفقات المتعلقة بالبحث العلمي والتقني . بخلال العقد الاخير زادت هذه المخصصات بما يعادل 15 بالمئة في السنة في حين ان معدل النمو الوسطي في الانتاج القومي لم يكن الا 3,5 بالمئة . والنفقات في هذا المجال تحملتها قطاعات الاقتصاد العام والخاص المختلفة ، والجامعات . والتوسع الابرز ، حصل في الحقبة التي تلت الحرب العالمية الثانية . في سنة 1938 كانت النفقات في هذا المجال قد بلغت 264 مليون دولار (كان نصيب الحكومة منها 48 مليوناً ، اي 18 بالمئة ؛ والصناعة ، 177 مليوناً ، اي 67 بالمئة ؛ والجامعات 28 مليوناً اي 11% ؛ موارد اخرى 11 مليوناً ، اي 4%) . ومنذ هذا التاريخ تضاعف هذا العدد العام باكثر من 40 ضعفاً ، فالاموال من مصدر حكومي اصبحت تغطي اكثر من النصف : 9 مليارات في سنة 1961 . اصل مجموع عام مقداره 14 ملياراً .

والمعونات الممنوحة للبحث الاساسي تعادل 8 بالمئة من هذا المبلغ ، وهي في معظمها من منشأ حكومي ، رغم ان معظم هذه البحوث يجري في الجامعات .

ان حقب التوسع السريع في هذه الامدادات قد توافقت مع حقب المتطلبات العسكرية الملحة . فالنفقات العسكرية انتقلت من 74 مليون دولار في السنة إلى 1,6 مليار بين 1940 و1945 ، وكان معظم هذه الزيادة مخصصاً لانجاز القنبلة الذرية . وأدت حرب كوريا إلى توسع سريع في موازنات البحث العلمي والتقني من اجل تقوية الأمن القومي . وفي سنة 1958 قفزت مخصصات البحث العلمي والتقني ففزة جديدة على اثر اطلاق اول سبوتنيك .

لا شك ان النفقات المخصصة للبحث الخالص قد تزايدت ببطء اكثر من المخصصات التي تخدم مباشرة الاهداف العسكرية . في هذه الاثناء كانت المؤسسات الوطنية للصحة ، والمؤسسة

الوطنية للعلم تستفيد من الاهتمام المتزايد الذي يوليه الجمهور للعلم ، فاستطاعت تحقيق برامج واسعة في البحث العلمي . وارتفعت موازنة المؤسسات الوطنية للصحة تسعة أضعاف ، منذ انشائها قبل الحرب العالمية الثانية بقليل .

وبخلال السنوات الاخيرة قوّت الحكومة الفدرالية دورها الاشرافي فصوّلت بحوثاً في مختبرات الدولة كما مولت مؤسسات غير رسمية ، ويبدو ان مقدار المعونات الحكومية استمر متزايداً تحت ضغط الاحتياجات . من ذلك ، وبخلال هذه الحقبة ، احتل تنظيم البحث العلمي وإعداد علماء جدد مكانة تزايد أهميتها في السياسة القومية . والمسألة الأكثر إثارة للجدل تقوم على تقييم أثر هذا التوسع السريع على نوعية العمل العلمي .

في آخر الحرب العالمية الثانية انذرف . بوش Bush ، وهو أحد العلماء المسؤولين عن الجهد العلمي زمن الحرب ، مواطنيه فقال : « إن تفوّقنا في مجالات البحث التطبيقي وفي مجال التكنولوجيا يجب ألا ينسينا أنّه في مجال البحث الخالص وفي اكتشاف معارف جديدة أساسية ، ومبادئ علمية ركيزية ، لا تحتل الولايات المتحدة مركز الصدارة » .

ان تبعية اميركا لاوروبا ، في مجال التقدم العلمي الركيزي ، وفي تأهيل علماء أكفاء ، يعود إلى القرن التاسع عشر وقتلما تغير الوضع بخلال العقود الاولى من القرن العشرين .

لقد بالغ ي . ي . رابي Rabi في تقدير التغيير الحاصل بهذا الشأن عندما صرّح « عندما ذهب إلى أوروبا لأول مرة ، منذ ربع قرن كنت ريفياً . وعندما عدت إليها بعد الحرب بدت أوروبا وكأنها هي التي تحوّلت إلى ريف » .

وعلى كل أصبح هذا التغيير بارزاً جداً اليوم وأهميته تعكس التغييرات في الدعم المالي الممنوح للعلم الأمريكي ، وكذلك في نشاط هذا العلم . نمنذ 1901 وحتى سنة 1939 نال العلماء الاميريكيون من اصل 128 جائزة نوبل منحت في الفيزياء والكيمياء والطب والفيزيولوجيا ، خمس عشرة جائزة فقط . وبين 1943 و 1961 نال الاميريكيون 47 جائزة من أصل مئة وجائزتين من جوائز نوبل .

نهضة العلم الاميريكي . المنعطقات الحاسمة - في مطلع القرن بقي نشاط العلم الاميريكي محصوراً جداً .

في سنة 1902 ذكر ك . سنيدر Snyder أنه ، رغم وجود بعض الشخصيات العظيمة ورغم تحقيق بعض النتائج المشهورة ، لم تلعب اميركا إلا دوراً ثانوياً في مجال العلم . ولكنه لم يعتقد أن هذا الوضع ناتج عن قصور في نظام التربية ، فاميركا قلماً كانت مسبقة إلا من قبل ألمانيا في ما خصّ عدد مؤسسات التعليم العالي الشهيرة .

وقد حاول العديد من العلماء توضيح اسباب هذا التخلف المستمر في اميركا ، في مجال العلوم الركيزية .

ويأسف الفيزيائي ه . آ . راولاند Rowland « ان يُذيب قسم كبير من المفكرين ، في هذا

البلد ، انفسهم في متابعة علوم تسمى عملية ، تنزع إلى سد احتياجاتنا الجسدية ، في حين لا يعطى الا القليل من المال الى القسم الاساسي في هذا المجال الذي لا يحتاج إلا إلى ذكائنا . واعتقد ان الاميركيين يخلطون بين العلم وبين الاختراع الميكانيكي . وعلى كل ، كان نشاط المجموعات العلمية الاميركية يحفزها على الامل بان هذا النقص في الفكر العلمي لن يدوم .

ورغم ان الفلكي سيمون نيوكومب Simon Newcomb كان ينتقد أيضاً مجمل العلم الاميركي ، الا انه آمن بتحسين وشيك . وقد توقع ان يسد تأسيس « معهد كارنيجي » في واشنطن الهوة القائمة بين العلماء ورجال الحكم . هوة جعلها هو المسؤولة عن سوء الفهم البارز تجاه العلم من قبل المسؤولين عن الحياة العامة . ان العلاج الذي اقترحه نيوكومب كان بسيطاً ومباشراً : جعل واشنطن مركزاً فكرياً .

وسهل اندلاع حرب 1914 جهود الذين كانوا يحاولون اصلاح العلم الاميركي . وقامت لجنة برئاسة ج . أ . هال باقناع الرئيس ولسون بانشاء « مجلس البحوث الوطني » ، من اجل تطوير التعاون بين مختلف مرافق البحث القائمة ، حكومية أو جامعية أو صناعية ، الخ . وبالتالي تقوية الدفاع الوطني . وكان هال Hale ، الذي اشتهر كفلكي ومدير لمرصد جبل ويلسون ، صاحب بداهة رائعا ومنظماً . وبناء لطلبه ، في سنة 1916 ، قدمت الاكاديمية الوطنية للعلم ، مساعدتها لرئيس الولايات المتحدة . وكان هال يظن ان العلم يستطيع المساعدة على الخروج من مأزق حرب الخنادق بفضل وضع اسلحة من نمط جديد ، ومن اجل التوفيق بين البحث الخالص والتطبيقي ، استعان « مجلس البحوث الوطني » بمهندسين من المؤسسات الرئيسية للبحث الصناعي .

وعندما تفاقم العلاقات بين الولايات المتحدة والمانيا ، في مطلع سنة 1917 ، استعان هال بالفيزيائي ر . آ . ميليكان Millikan الذي اصبح المشرف الرئيسي على « مجلس البحوث الوطني » . في بداياته ، لم يحصل مجلس البحوث الوطني على معونة من الحكومة ، واضطر إلى اللجوء إلى الأموال الخاصة . وقدمت مؤسسة كارنيجي ، ومؤسسة روكفلر المساعدات الأولى وفيما بعد تلقى المجلس مساعدة حكومية ، ولكن المعونات الخاصة ظلت تغطي القسم الأكبر من ميزانيته .

في مطلع 1918 ، اقترح مجلس البحوث الوطني تأسيس « مصلحة البحث الاعلامي » (R. I. S) . وحصلت هذه المصلحة على انشاء مراكز لملحقين لدى السفارات في لندن وباريس . وكان المشرفون على هذه المصلحة يرون ان العلم الاميركي ما يزال يتبع إلى حد بعيد العلم والتقنية العسكرية الاوروبيين .

وكان مجهود البحث بخلال الحرب العالمية الاولى قد اختلف حول تقييمه . لا شك ، ان الحاجة إلى الحصول على نتائج آتية ، جعلت البحث الاساسي في المرتبة الثانية ، وحملت الطاقم العلمي في الكليات ، والجامعات والصناعة ، على التوجه نحو المجهود الحربي ، على حساب البحوث الأخرى . ولكن البعض اعتقد أن هذا النقص قد عوّض إلى حد بعيد « بالانجازات

المدهشة التي فرضها ضغط الضرورة والتي بينت فضل الامكانيات الاقتصادية للبحث العلمي » .

وبعد نهاية الحرب ، رغب المشرفون على « المجلس الوطني للبحوث » في تمتين النتائج الحاصلة ، من اجل اعطاء العلم الاميركي ، مكانة تشبه المكانة التي احتلتها الولايات المتحدة على الصعيد السياسي الدولي . كتب أحدهم : « لن يكون لنا علم مواز لاهميتنا ، الا عندما تعتمد الجامعات الأوروبية تجديداتنا » .

الواقع ان « المجلس الوطني للبحوث » استمر كفرع في « الاكاديمية الوطنية للعلم » ، مع اعضائه الخصوصيين ، الذين جازوا من 79 شركة علمية اشتركت في انشائه . ورغم ان مركزه الرئيسي في واشنطن وانه يتمتع بملاك شبه رسمي ، فقد كان يعمل بالكامل باموال خاصة ، ولا يمتلك تنظيماً مركزياً فيه القوة من اجل تنسيق النشاطات العلمية . فضلاً عن ذلك ، كان العمل الحكومي في المجال العلمي مقصوراً جداً بخلاف العقد الذي تلا الحرب : فلم تتجاوز الاعتمادات الممنوحة للبحث العلمي والتقني معدل 2% من الموازنة الفدرالية أي مبلغاً سنوياً مقداره 50 مليون دولار .

في هذه الاثناء اطلقت نداءات عدة من اجل انتهاج سياسة علمية . واوصى ق . كيلوغ Kellogg ، مدير « المجلس الوطني للبحوث » ببذل الجهود المتضافرة من أجل حل بعض المسائل العلمية . ونادي ك . كومبتون Compton بالتخطيط ، من أجل استخدام الطاقة العلمية الى اقصى حد .

وادى الانهيار الاقتصادي الكبير ، في سنة 1930 ، إلى تفهقر سريع في الدعم المالي ، الممنوح للبحث العلمي . وفهم هـ . هوڤر Hoover أهمية العلم ، واذا كان لم يقدم معونات فدرالية ، فإنه قد اهتم في توجيه الاموال الخاصة للمساعدة في تطوير العلم الخالص . وجهد من أجل هذا ، في الاستعانة بالمصلحة الشخصية لعالم الاعمال . فقال : « ان مصارفنا جميعاً ، تقدم للمصلحة العامة في سنة اقل مما تقدمه اكتشافات فاراداي Faraday لنا في يوم واحد » . وحتى في سنة اشتداد الازمة 1932 ، ظنّ هوڤر ان البحث العلمي سوف يقبل في النهاية الاتجاه ، ويحقق انتاجاً وازدهاراً أكبر .

في البداية لم يعرف « النيوديل » الذي اعلته ادارة الرئيس روزفلت ، أي موقف يجب اعتماده تجاه البحث العلمي . في المدى البعيد ، يمكن لهذا ان يكون مفيداً ؛ ولكنه لم يبد قادراً على تقديم العون المباشر للاقتصاد المتأزم . وكان الوزير الجديد للزراعة هـ . آ . والاس Wallace ، هو الذي اقترح سياسة علمية ناشطة .

قال : « لقد حول العلم القلة إلى فيض . وكونه قد خدمنا جيداً ، لا يسمح بجعله مسؤولاً عن عجزنا عن توزيع الانتاج وفقاً للاحتياجات وبالتالي التوزيع العادل لثمار الفيض » . وكان والاس يعطي للكلمة « علم » معنى واسعاً جداً ، بحيث تغطي العلوم الاجتماعية وعلوم الطبيعة وتطبيقاتها . وكان يعتقد ان سياسة « الجبل على الغارب » في المجال العلمي هي خطأ ، وان

العلماء والمهندسين يجب ان يعوا الانعكاسات الاجتماعية لاعمالهم .

ودعي المشتغلون بالعلم الاميركي يومئذ إلى المشاركة في التجارب الاجتماعية لما سمي بـ « نيوديل » . وحل محل « مكتب الاستشارات العلمية » ، المنشأ سنة 1933 ، ايام رئاسة ك . كومبتون ، وكان من انصار تخطيط العمل العلمي المتحمسين ، مختلف اوجه تنظيم حكومي للبحث . ووضع هذا المكتب فيما بعد ، برنامج عمل (برنامجاً شاملاً للتقدم العلمي) ، ركز على الاهداف الاجتماعية للعلم . وهدف إلى توحيد العلميين والتقنيين في سياسة « نيوديل » . ولكن هذه الاقتراحات لم تعتمد . وفي سنة 1935 ، حل المكتب ، دون ان يحصل من الحكومة على تمويل اعادة تنظيم البحث .

ومع ذلك ، وفي المرحلة الاخيرة من « نيوديل » ، تم تحقيق بعض مشاريع العون العلمي . وتحت إدارة « لجنة الموارد الوطنية » ، وضع تحليل دقيق لكل مظاهر البحث الحكومي ، في علاقاته بالنشاطات العلمية في الصناعة وفي الجامعات (البحث والموارد الوطنية ، 1938) . وبخلال سنة واحدة ، تجاوزت الموارد الموضوعية تحت تصرف اللجنة العلمية ، مبالغ المعونات المقدمة بخلال عقد « الانهيار الاقتصادي » .

وهكذا ، عند اعلان الحرب في اوروبا ، كان العلم الاميركي افضل تنظيمياً ، وكانت علاقاته مع الحكومة والمجتمع قد فهمت بصورة افضل . في هذا الوقت دعي العلم الاميركي للتصدي للبحث في خدمة الحرب . هناك واقعة أثرت كثيراً في التطور العلمي في الولايات المتحدة ، هي : سلوك المانيا النازية تجاه العلم . ان الجامعات الالمانية الكبرى ، وهي مراكز عالمية للتربية العلمية ، جاءت علة احيال من الاميركيين تكمل تأهيلها العلمي فيها ، قد انتقلت لتصبح تحت السيطرة السياسية للنازيين .

ولم يكتفَ فيها بفرض الرقابة ، بل ان اساتذة غير آريين قد طردوا منها ، أو وضعوا في مواضع صعبة . بين 1933 و 1938 ، استبعد اكثر من 1800 عالم موهوب - ريعهم على الاقل من حملة جوائز نوبل من الالمان - من الجامعات الالمانية ومن النمسا ، في حين تناقص عدد الطلاب في العلوم بمعدل الثلثين . وهاجر الكثير من العلماء المبعدين إلى الولايات المتحدة ، ففوقوا في الموارد في مجالات التعليم والبحث العلمي .

وأحد التغييرات الأكثر أهمية التي حققتها الحرب ، يكمن في تنظيم عمل البحث . فقامت مجموعات للبحث العملياتي تتضمن العديد من العلماء ، تعالج المشاكل العسكرية المعقدة بواسطة التحليل العلمي . وقامت مجموعات اخرى فكلفت بوضع وتحقيق انجاز سلاح جديد اساسي : القنبلة الذرية .

وأنشئت علة اجهزة في السنوات الاولى من الحرب من اجل تنسيق المساعدات المهمة التي يقدمها العلم لتتلاءم مع البحث العسكري والتقني . وتضمن مكتب البحث والنمو العلمي (O. S. R. D) ، تحت اشراف في . بوش ، بشكل خاص ، « لجنة بحث » من اجل الدفاع الوطني ، ولجنة بحث طبي . وقامت مجموعات من العلماء ، بموجب عقود معقدة مع هذه اللجان ، غالباً

في داخل الجامعات ، بحل مسائل مهمة . ومن بين النجاحات الاكثر بروزاً ، يجب ذكر تحسين الرادار .

والنشاط الذي تسبب ، في النهاية بقيام المأساة الاكثر دواً ، تسبب ايضاً بقيام نشاط هو من الاكثر خفاهً ، في الحرب . فقد كلف « قسم مانهاتن للهندسة » في « الهندسة العسكرية » بتنظيم هذا المشروع الضخم العلمي والصناعي الذي خرجت منه القنابل الذرية التي انفجرت في هيروشيما وناغازاكي . والفكرة ، تصورها فيزيائيون ، حول قنبلة من الاورانيوم ، لم تقبل الا بتردد من قبل الحكومة التي كانت تتردد في اتفاق مبالغ ضخمة من اجل مشروع كان نجاحه غير اكيد . ولكن العلماء ، ومن بينهم العديد من اللاجئين من النازية ، نجحوا في اقناع المسؤولين بخشيتهم ان تتوصل المانيا الى انتاج هذا السلاح .

وكان المتعطف قد وقع في تموز 1941 ، والانتجازات التي اشارت اليها مختلف المختبرات بدت وكأنها تجعل صنع القنبلة اكثر تحقيقاً ، من الناحية العلمية . وجاء تقرير من الانكليز ، يوحي بالامل بان قنبلة من حجم صغير تستطيع الطائرات المروجة نقله ، يمكن صنعها بخلاف ستين . وكان هذا الرأي متفائلاً جداً ، بالتأكيد ، ولكن بخلاف الاشهر التي سبقت ثم تلت دخول الولايات المتحدة في الحرب ، بوشر بدراسة منهجية لمختلف المسائل المتعلقة بهذا التحقيق . وجمعت مجموعات من الباحثين في مختبرات كولومبيا ، وشيكاغو وبركلي ، من اجل دراسة مختلف اوجه فصل النظائر ، وبناء « بطارية » ذرية في مشروع قنبلة النخ . وانشئت مدن بكاملها ، كيفما كان مثل « اوكر ريدج » (تنيسي) وهانفورد (اوريجون) اصبحت مراكز مهمة للبحث والتطبيق . وعلى جبل في لوس آلamos Los Alamos (نيومكسيكو) ، جمع ج . ر . اوينهيمر Oppenheimer فريقاً من الفيزيائيين الموهوبين ، كما لم يوجد مثلهم في اي مكان آخر في العالم .

وفتح نجاح هذه المهمة ، تحقيق القنبلة الذرية ، فصلاً جديداً في تاريخ العلم . واعتبر رمزاً لدخول الانسان العصر النووي ، وكشف ان المشاركة العلمية ذات معنى سام جداً من حيث مسؤولياتها الاجتماعية . ودل هذا النجاح على ان العلم اخذ يلعب دوراً في الشؤون الحكومية وفي الحياة العامة . وكانت المبالغ المدفوعة من اجل انجاز القنابل النووية الاولى ، وهي من مستوى مليارين من الدولارات ، تتجاوز مجموع كل المعونات الفدرالية ، التي خصصت في السابق للبحث العلمي والتقني . والحدث الاكثر بروزاً والذي يجب ذكره ، هو ان ايركا اثبتت قدرتها على الافادة من هذا المبلغ بفعالية ، رغم ان قسماً من العلماء الاكثر عظمة ، خلال فترة الحرب ، كانوا من المهاجرين امثال : ل . زيلارد ، وأ . ويشنر ، وأ . تلو . فرمي Fermi ، وج . فرانك Franck ، وأ . سيفري Segré ، الخ . ولكن لا يمكن انكار ان هذا الفريق تضمن ايضاً قسماً مهماً من الفيزيائيين من ذوي القيمة الذين ولدوا في الولايات المتحدة ومنهم : آ . هـ . وك . ت . كومبتون ، وي . ي . رابي ، وج . ر . اوينهيمر ، وف . بوش ، بنبريدج Bainbridge ، وج . كونانت Conant ، وأ . و . لورانس Lawrence ، وج . ت . سيبورج Seaborg ، الخ .

في مطلع القرن العشرين لم تكن الولايات المتحدة تمتلك اي تنظيم علمي شامل ، ولكنها

بخلال الحرب العالمية الثانية اقامت مجتمعاً علمياً قوياً ، ومتنوعاً وغنياً بما فيه الكفاية بالادمغة ، من اجل تحقيق عجائب حقبة علمية وتقنية .

في المصنف الاول من العلم - ان الاضرار التي اصابته قسماً كبيراً من مؤسسات البحث الاوروبية ، وهجرة قسم من العلماء الاكثر بروزاً ، لا تفسر الا جزئياً كون الولايات المتحدة قد توصلت الى المرتبة الاولى في العلم العالمي . الواقع ان للجماعة العلمية التي كانت فيها في طور الحمل قد استفادت من الوسائل التي وضعت في تصرفها بخلال الحرب لكي تتبوأ هذا المقام .

يجب ذكر مجال خاص ، كشفت فيه الولايات المتحدة باكراً جداً عن تفوقها ، واستطاعت المحافظة على هذا التفوق حتى الآن ؛ انه دراسة الوراثة ، وعلم التوالد ، وهو اول قطاع في العلم قدم فيه اميريكيون مساهمات مهمة واصيلة .

ان اكتشاف قوانين مندل Mendel سنة 1900 أدى الى نمو دراسات تجريبية حول الوراثة . في سنة 1909 بدأ عالم الحيوان الاميركي العظيم ت . هـ . مورغان استقصاءاته في هذا المجال الجديد ، حيث لم يكن هناك اي تراث يدفع الطلاب نحو مركز بحث اوروبي متخصص . واجتذب علم الوراثة (Génétique) بشكل خاص الباحثين الراغبين في رؤية تحول البيولوجيا الى علم واضح وتحليلي . وقدم مورغان Morgan لهذه البحوث الجديدة كل موهبته وبكل نشاطه . فأنشأ في مختبراته في كولومبيا (وفي وودمس هول خلال الصيف) فريقاً ناشطاً من الطلاب ومن المساعدين الشباب تصدوا لكل المسائل التي تثيرها بحوثهم .

وكانت النظرية الصبغية في الوراثة أولى النظريات (الكلاسيكية) في علم الوراثة التي خرجت على يد مجموعة مورغان . وكان معاونوه الاولون هـ . ج . مولر Muller ، وأ . هـ . ستورتيفانت Sturtevant ، وك . بريدجس ، من بين منشئي علم الوراثة الحديث ، ومن سنة 1910 الى سنة 1927 ، تردد العديد من الطلاب الاجانب الى مركز علم الوراثة في كولومبيا ، الذي اكتسب شهرة عالمية . ولم يكن ارتباط الوراثة بالجنس ، أو بالخارطة الجينية للصبغيات ، والمفاعيل الوراثية لتقسيم غير مكتمل للخلية ، الا بعضاً من أهم المساهمات التي قام بها هذا المختبر .

وقام اميريكيون آخرون ، ربما مدفوعون بهذه الاكتشافات الجارية في بلدهم ، ببحوث في قطاعات أخرى من قطاعات علم الوراثة . درس ج . بيدل Beadle علم الوراثة عند الدروزفيل (فصيلة اليفات الندى) الى جانب ستورتيفانت . وكانت الأعمال التي حققها فيما بعد مع الكيميائي أ . ل تانوم Tatum قد أكدت فرضية س . رايت Wright ، التي تقول ان الجينات تؤثر مباشرة في الأيض الخلوي . وأهمية هذه النتائج المحققة منذ سنة 1945 تأتي من مختبرات اميركية أو من باحثين تأهلوا في هذه المراكز .

ورغم امكانية ذكر عظماء من رجال العلم الاميركيين في الفيزياء والكيمياء والرياضيات وفي علم الفلك - ومنهم كثيرون قد حصلوا على جوائز نوبل ، في اعمال انجزوها قبل الحرب العالمية الثانية - فان علم الوراثة ظهر وكأنه قطاع خاص اقام فيه الاميريكيون تراثاً باكراً ومستمرّاً مميزاً في

نوعيته . الا ان الظروف التي أتاحت لمورغان ان يمارس تأثيراً كبيراً كهذا ، قد تحققت في حالات اخرى ، وذلك عندما قام عالم مخترع وبارع بمعالجة مسألة دقيقة في اللحظة الملائمة واستطاع ان يتقني وان يحفز مجموعة من الطلاب والمعاونين النشيطين .

ذلك هو الفيزيائي ي . ي . رايلي المتدرب في همبورغ في مختبراً . سترن Stern ، حين وضع تقنيات النافورة الجزيئية (1929) ثم وجه فيما بعد ، في جامعة كولومبيا ، بحوث فريق استكشف العديد من نتائج هذا الاكتشاف . وقد جذب عمقه وذكاؤه العديد من الفيزيائيين الشبان الاميركيين نحو هذا المجال الجديد والخصب من الفيزياء .

في هذه الاثناء لم تكن التجديدات الاساسية في الفيزياء الحديثة ولادة التربة الاميركية ، بل ولادة المراكز الاوروبية ذات التراث العلمي الغني . وبخلال العقود الثلاثة الأولى من هذا القرن ، كانت كوبنهاغن ، وكمبريدج في انكلترا ، وغوتنجن المراكز الاكثر نشاطاً ، حيث جاء الاميركيون الشبان يدرس على يد بوهر Bohr وروذرفورد Rutherford وهيسنبرغ Heisenberg ، وغيرهم من المترجمين الجند للطبيعة . ان مساهمات الفيزيائيين الاميركيين غدت اكثر عدداً ابتداء من سنة 1930 ، والبعض من التجهيزات الجديدة مثل « سيكلترون » أ . و . لورنس في « مختبر الاشعاع » في كاليفورنيا ، أخذت تلفت الانتباه .

ولكن التغيرات المهمة الحاصلة في مناهج البحوث والنفقات الضخمة المخصصة للعلم منذ بداية الحرب العالمية الثانية هي التي حملت الفيزياء الاميركية الى مكانة سامية .

وعلى موازاة خط النهضة التي عرفها العلم في الولايات المتحدة ، برزت سمته العالمية ونشطت ايضاً . وقد سمع النداء الذي اطلقه ك . كومبتون من اجل اعادة احياء المؤسسات العلمية ووسائل الدرس التي دمرتها الحرب ، واستجيب له جزئياً . واصبحت المحاضرات العلمية دولية اكثر ، وقامت بحوث عديدة ، بذات الوقت ، في بلدان مختلفة .

ان المشاكل الاجتماعية الجديدة للعلم ، تهتم كل الدول ، فالقوة ، والسرعة والفعالية هي المسائل الملحة التي تهتم المجتمع ، اذ بدا ان العلم ، لا يتيح فقط توسيع مجال المعارف ، بل انه يستطيع ايضاً ان يخدم في تقوية الامن القومي . ان هذا التطبيق الاخير يحدث ضغطاً قوياً يوشك ان يخطيء الاحكام . ان الرغبة في التقدم السريع وفي تحقيق تقدم تقني ومكاسب ، ليست بالامر الجديد في التاريخ الاميركي . انما هي التي الهمت ج . هنري ، للدفع عن البحث النظري . ان هذه الافكار ، لها جرّس مألوف لدى عالم اليوم ، وترداداً لصدى هنري ، بعد قرن من الزمن ، لا يشك ف . بوش اطلاقاً بالمهمة الحالية .

« ان التمييز بين البحث الخالص والتطبيقي ، ليس لا جامداً ولا ثابتاً ، والباحثون في الصناعة ، يمكن ان يواجهوا مشاكل ذات طبيعة نظرية خاصة . ولكن يجب التركيز على واقعة وجود قانون مضلل يتحكم بالبحث ؛ وهو : تحت ضغط الحاجة الى نتائج عملية آنية ، وما لم تتخذ احتياطات واعية وهادئة للاحتماء من هذا الضغط ، فان « البحث التطبيقي ، يقضي بالتأكيد على البحث الخالص » . والعبرة واضحة : ان البحث الخالص هو الذي يستحق ويقتضي الحماية الخاصة وهو الذي يتطلب عوناً مؤمناً بشكل خاص » .

مراجع الفصل الثالث

B. BARBER, 'Science and the Social Order, (Glencoe, ILL., 1952; R. S. BATES, Scientific Societies in the United States, New York, 1958, 2 ed.; W. R. BRODE, The Growth of Science and a National Science Program, *American Scientist*, 50, 1-28, 1962; J. E. BURCHARD (ed.), Mid-Century, *The Social Implications of Scientific Progress*, Cambridge, 1950; V. BUSH, *Science, The Endless Frontier*, Washington, 1945; réimpr., 1960; A. H. DUPREE, *Science in the Federal Government. A History of Policies and Activities to 1940*, Cambridge, 1947; R. G. HEWLETT, Oscar E. Anderson Jr., *The New World, 1939-1946*, Vol. I: *A History of the United States Atomic Energy Commission*, University (Park, Pa., 1962; G. HOLTON, Scientific Research and Scholarship. Notes Toward the Design of Proper Scales, *Daedalus*, Spring, 1962, PP. 362-399; E. MENDELSON, Science in America... the 20th Century, in A. M. SCHLESINGER Jr et M. WHITE, ed., *The Path of American Thought*, Boston, 1963; National Resources Committee, *Research. A National Resource*, Washington, 1938; National Science Foundation, *Basic Research. A National Resource*, Washington, 1957; Id., *Federal Funds for Science X*, Washington, 1962; Id., *The Long-Range Demand for Scientific and Technical Personnel: A Methodological Study*, Washington, 1961; Id., *Organization of the Federal Government for Scientific Activities*, Washington, 1956; Id., *Proceedings of a Conference on Academic and Industrial Basic Research*, Washington, 1961; Id., *Tenth Annual Report*, Washington, 1960; D. J. de S. PRICE, Diseases of Science, *Science Since Babylon*, New Haven, 1961. PP. 92-124; D. K. PRICE, J. S. DUPRE, W. E. GUSTAFSON, Current Trends in Science Policy in the United States, *Impact of Science on Society*, 10, 187-213, 1960; D. K. PRICE, *Government and Science. Their Dynamic Relation in American Democracy*, New York, 1954; I. STEWART, *Organizing Scientific Research for War*, Boston, 1948.

العلم في اميركا اللاتينية القرنان التاسع عشر والعشرون

عرفت اميركا اللاتينية في القرن التاسع عشر وفي جزء من القرن العشرين ظروفًا قلما تساعد في مجملها على نمو الحياة العلمية .

انجز الاستقلال نهائياً سنة 1824 ، فيما خص المستعمرات الاسبانية القديمة ، التي رغمًا عن جهود بوليفار ، انتظمت كجمهورية مستقلة . وبعد 1822 حصلت البرازيل على استقلالها واحتفظت بالشكل الملكي ، واعلنت امبراطوراً لها هو دون بدرو ابن ملك البرتغال . وبالمجموع انشئت ثماني عشرة دولة متفاوتة جداً في المساحة وفي الاهمية (عشرين الآن منذ استقلال كوبا سنة 1898 ، وتشكيل الباما ، بعد انقسام كولومبيا سنة 1904) وذلك على أنقاض الامبراطورية القديمة الاسبانية البرتغالية .

وبعد انتهاء حروب الاستقلال بدأت الحقبة المؤلمة حقبة الخصومات والنزعات العنيفة بين الدول من اجل رسم الحدود ، وكان من نتيجة ذلك انهاك الجميع . وادت الاضطرابات الداخلية الخطيرة إلى تعاقب الدكتاتوريات والثورات ، والاضطرابات التي اثارها الظروف السياسية الجديدة ، والصراعات الاجتماعية والعرقية غالباً ، والظروف الاقتصادية المختلفة . وبقي الانتقال الصعب من اقتصاد استعماري إلى اقتصاد حديث ، ومعجىء المستوطنين الأوروبيين ، وتسارع وتيرة تزايد السكان ، كل ذلك يبقى كمشاكل حالية تعاني منها بلدان اميركا الجنوبية (في الوقت الحاضر يعتبر معدل تزايد السكان من الأعلى في العالم : 2,7% بين 1950 و 1960) . ويمكن الاعتقاد ان الكثير من القوة الحية قد استهلكت على هذا الشكل وهددت ، وفي اغلب الاحيان قد ضاعت بالنسبة الى العلم الذي كان استفاد منها في ازمة اكثر هدوءاً .

ورغم الظروف المادية غير المساعدة ، ظلت النخبة في اميركا الجنوبية تحترم الثقافة احتراماً كبيراً . والقيمة المعنوية التي يتمتع بها في كل الاوساط حامل لقب دكتور ، تكفي للدلالة على ذلك . ؛ ولهذا بقيت الحياة الفكرية ناشطة .

ان الجامعات القديمة من المرحلة الاستعمارية ، وهي جامعات مكسيكو وليما وكيتو وبوغوتا

وكاراكاس وكوردوبا استمرت في العمل . والبعض منها تعصرون وتطور بالمحاق كليات جديدة . وتم انشاء جامعات جديدة بخلال القرن التاسع عشر والقرن العشرين . والارجنتين التي لم تكن تمتلك الا جامعة كوردوبا ، انشأت جامعة بوينوس ايرس سنة 1821 ، وجامعة توكومان سنة 1914 ، وجامعة ليتورال سنة 1919 . اما البرازيل التي لم يكن لديها جامعة زمن الاستعمار فقد انشأت جامعة ريو دي جنيرو سنة 1920 ، وجامعة برازيليا التي فتحت ابوابها سنة 1962 .

ولكن التعليم العلمي بقي لمدة طويلة قليل التطور . وفي كل مكان هناك نقص خطير في المختبرات وفي مراكز البحوث . ان شعوب اميركا اللاتينية تميل مزاجياً وتراثياً نحو المجالات الادبية اكثر من غيرها ، مع تفضيل خاص للحقوق ، اكثر من ميلها للعلوم وتطبيقاتها ، باستثناء الطب .

وللتعليم في كل المجالات صفة تعليمية ونظرية ، وهو عيب خطير خاصة بالنسبة إلى تعليم العلم . في الحقبة الممتدة بين 1898 و 1918 خرجت جامعة تشيلي ، في بلد منجمي من الدرجة الاولى ، 1700 شهادة حقوق مقابل 22 شهادة مهندس .

فضلاً عن ذلك بقي العلم امتياز طبقة معينة ، ورغم انه منذ 1900 أصبح مجانياً والزامياً في كل الدول ، فان عدد الاميين بقي ضخماً .

ولكن العقود الأخيرة ، وخاصة بعد نهاية الحرب العالمية الثانية ، وبمساعدة ناشطة من الإونيسكو ، وحالياً بمساعدة من الاتحاد الاميركي من اجل التقدم ، بذل جهد كبير جداً من اجل نشر التعليم بين الجماهير ، بذات الوقت من اجل تجديد اساليبه ، وتكييفه ليماشي المقتضيات الحالية من خلال تطوير قطاع العلم والتقنية .

ودلت استقصاءات تناولت مجمل البلدان في اميركا اللاتينية ، انه في سنة 1960 ارتفعت النسبة المئوية في المدرسة الابتدائية (من 6 إلى 13 سنة) ، الى 78% . ولكن التعليم الثانوي ، من مستوى عاطل عموماً ، لم يبلغ سوى عشرين بالمئة من الجماهير التي هي في سن الدراسة ؛ هذا في الارجنتين ، اما في البرازيل فالنسبة هي 7,7% . اما التعليم العالي فلم يحصل سنة 1960 الا على 3,1% من السكان بين 20 و 24 سنة . هذا الاستقصاء يدل أيضاً ان 4% فقط من الطلاب قد توجهوا نحو العلوم المحضة والعلوم الطبيعية ، و 18% نحو دراسة الهندسة ، و 21% نحو الطب ، و 2% نحو العلوم الزراعية .

ويمكن الاعتقاد ان جذب القطاعات العلمية قد تزايد بعد انشاء مؤسسات حديثة جداً مثل معهد الفيزياء الذرية في سان كارلوس دي باريلوتشي في الارجنتين ، ومدارس الجيولوجيا في بورتو اللغري ، وأوروويرتو وريسييف ، وهي مدارس مخصصة لتكوين مهندسين من اجل دراسة « متعدد الاضلاع الجاف » في البرازيل ، أو معهد الجيوفيزياء في مكسيكو . وفي العديد من البلدان تجمع المؤسسات الرسمية : « المجلس الوطني للبحوث العلمية والتقنية في الارجنتين » و « المجلس الوطني للبحث العلمي في المكسيك » ، و « المجلس الوطني للبحوث في البرازيل » الخ ، بين البحث العلمي والتقني .

الطب - الا ان اميركا اللاتينية ، منذ نهاية القرن التاسع عشر ، قد لعبت دوراً في التقدم العلمي ، وهو دور مهم بشكل خاص في الطب .

ان الطبيب كارلوس خوان فينلاي (1833-1915) وكان يمارس مهنته في هافانا وكانت يومئذ بؤرة الحمى الصفراء والملاريا ، هو اول من اقترح سنة 1881 ان البعوضة هي ناقل مرض الحمى الصفراء . واثارت اعمال لاحقة - لعب فيها طبيب آخر كوبي هو خوان غيتيراس Guiteras دوراً كبيراً - التثبت من هذه الفرضية ، وهكذا امكنت مكافحة هذا المرض المداري الخطير .

في البرازيل كان كارلو شاغاس Chagas (1879-1934) ، مدير معهد اوسوالدو - كروز ، يستقصي حول وباء الملاريا في مقاطعة ميناس جيراس ، فعزل نوعاً جديداً من التريپانوسوم هو « تريپانو سوما كروزي » وهو سبب « مرض شاغاس » أو داء المثقبيات الأمريكي .

وفي سنة 1947 ، اسندت جائزة نوبل في الفيزيولوجيا والطب ، بنصفها إلى الفيزيولوجي الارجنتيني ب . آ . هوساي Housay ، مدير معهد الفيزيولوجيا في كلية الطب في بونوس ايرس ، من اجل اعماله حول القسم الامامي من الغدة النخامية في ايض السكر .

إلى جانب هذه الاعمال الشهيرة ، ساهم باحثون عديدون آخرون في تقدم الطب ، وقد مارست كليات الطب دائماً جذباً حياً على النخبة في اميركا الجنوبية .

علم النبات - ان الغنى الطبيعي في القارة الاميركية قد جذب ، في القرن التاسع عشر ، العديد من العلماء الاجانب . ورعت الحكومات الفرنسية والانكليزية والروسية وغيرها العديد من البعثات العلمية .

نذكر من بين أهمها ، بعثة : غوديشو - بوپريه Gaudichaud - Beaupré إلى البرازيل وإلى الاكوادور والبيرو (1830-1840) ، وبعثة شارل داروين إلى باتاغونيا ، ارض النار ، شيلي ، بيرو ، وبعثة هـ . دي سوسور de Saussure سنة 1855 إلى المكسيك . وبين 1843 و 1847 قام هيرويدل H. Weddell ، باستكشاف جبال الاندس وكان أول من درس فيها النبات . ونذكر ايضاً جردة النباتات في الشيلي من قبل ر . آ . فيليبي Philippi وك . رايش Reiche وبعثات الانكليزي ر . سبروس Spruce في وادي الامازون . وهكذا حققت معرفة النباتات في اميركا الجنوبية تقدماً كبيراً ، ونشر العديد من الكتب ، خاصة حول النباتات المفصلة في العديد من البلاد .

وبذات الوقت ، وإلى جانب هذا الجهد الذي قام به الاوروبيون ، قامت حركة ناشطة تهتم بهذه البحوث في دول اميركا الجنوبية حيث انشئت اجهزة ساهمت بنشاط في الاحصاءات وفي المنشورات . وتأتي الأرجنتين في طليعة هذه الحركة ، حين أسست سنة 1823 متحفاً للتاريخ الطبيعي ، واصدار مجلات مثل (الحوليات = أنال) (1874) ، الفيزياء (1912) ، واقامة كرسي لنبوتانيك (لعلم النبات) في جامعة كوردوبا . وفي المكسيك ايضاً ، تأسس المتحف الوطني في مكسيكو سنة 1866 ، واول كرسي لعلم النبات تأسس سنة 1911 في الجامعة واسند إلى ك .

رايش . وبعد ذلك اخذت تنكاثر المعاهد المخصصة للعلوم الطبيعية وللعلوم الزراعية في العديد من البلدان .

علوم الارض - بدأ الاهتمام بعلوم الارض يظهر بصورة تدريجية بخلال القرن التاسع عشر ، ولكن الاعمال الاولى المهمة هي من صنع اجانب : داروين Darwin ، الاخوان غرانديدييه Grandidier ، الالمانى هـ . ستيفن Steffen ، الخ . ولكن البحث عن اشباه المعادن ، وفيما بعد البحث عن البترول والماء سوف ينشط الاستقصاء الجيولوجي . وتشكلت مجموعات اشباه معادن في المتحف الوطني في الربو ، وفي مدرسة المناجم في ليما في البيرو ، واورويريتو في البرازيل ، وهي مدارس اصبحت اجهزة ناشطة . ان المعهد الجيولوجي في مكسيكو ، المؤسس سنة 1891 ، قدّم مساهمة مهمة في معرفة علم الهزات الأرضية ، وذلك عندما أخذ ينشر منذ 1927 ، الخارطة الزلزالية في المكسيك ، وبذات الوقت تلقت الدواستات البركانية دفعة جديدة بظهور البركان پاراكوتين ، الذي يتبع فريق كامل من الجيولوجيين تدريجه . وأتاحت دراسة المناطق المنجمية نشر خرائط جيولوجية جزئية للبيرو وكولومبيا والمكسيك والبرازيل .

وفي الوقت الحاضر ، تمتلك غالبية الدول في اميركا اللاتينية معاهد متخصصة بمختلف فروع العلوم الارضية : معاهد جيوفيزيائية ، وجيوديزية ، ومحيطية ، ومعاهد للبحوث المنجمية .

ويعونة من الاونيسكو ، نظمت اجتماعات عديدة للدراسات كل سنة في مختلف المدن حول مسائل مشتركة بين كل هذه البلدان من اميركا اللاتينية . وهكذا نظمت حلقات دراسية من اجل اعداد الخارطة الجيولوجية لاميركا اللاتينية ، وحول استكشاف وتقييم الموارد المائية الجوفية ، وحول الاراضي القاحلة في القارة الاميركية الجنوبية ، وحول علم المحيطات الفيزيائي وعلوم البحار .

وفي مجال علم الاحاث ، تم الحصول على نتائج مهمة . فقد اكتشف هـ . ويدل ، في رحلته إلى الأندلس عظاماً متحجرة من العصر الپليستوسيني . وفي الأرجنتين ، حقق ك . وف . أميغينو Ameghino ، ابتداءً من سنة 1887 عملاً عظيماً باكتشاف العديد من انواع الثدييات المتحجرة . وأخيراً في المكسيك تم اكتشاف انسان تيپيكسان Tepexpan سنة 1947 .

ان الاحداث السابقة لا تشكل سوى امثلة مأخوذة من بعض البلدان ومن بعض المجالات العلمية ، المختارة من بين الاكثر تمثيلاً . انها تدل على وجود حياة علمية ، في اميركا اللاتينية ، ذات علاقة وثيقة بأوروبا وبالولايات المتحدة ، وانها تبلغ في بعض القطاعات مستوىً عالياً .

لا شك ان النمو العلمي في بلدان اميركا الجنوبية يعاني من عدم تجدد التراث ؛ ثم انه فضلاً عن ذلك مرتبط بالتقدم الاقتصادي ، وقبل كل شيء بالتزايد العددي للطبقة الاجتماعية التي ترقى إلى الثقافة . ولكن النهضة المشهودة ، في بعض المجالات التقنية في البرازيل ، والأرجنتين وغيرهما ، وحيوية النشر العلمي في هذين البلدين الكبيرين هما من علامات تمثل التقدم وتوحي بمستقبل خلاق .

مراجع الفصل الرابع

F. de AZEVEDO, *Brazilian Culture*, New York, 1950; J. BABINI, *La evolucion del pensamiento científico en la Argentina*, Buenos Aires, 1954; J. de GALINDEZ, *Iberoamerica, su evolucion política, social-económica, cultural e internacional*, New York, 1953; E. de GORTANI, *La ciencia en la historia de México*, Mexico, 1963; R. A. HUMPHREYS, *Evolution of Modern Latin America*, New York 1947; J. J. IZQUIERDO, *La fisiología en México*, Mexico, 1947; ID., *Nuevas rutas para la especialización científica en México*, Mexico, 1947; J. F. RIPPY, *Historical evolution of Hispanic America*, 3^e éd., New York 1946; W. S. STOKES, *Latin American politics*, New York, 1947. Revues : *The Americas*, *The Hispanic American Historical Review*, *Revista de Historia de America*, etc.

التجديد العلمي في البلاد الإسلامية

ان دراسة العلم المعاصر في البلدان الاسلامية هي مهمة تعترضها صعوبات كبيرة وغباب الدراسة المتخصصة حول هذا الموضوع ليست هي العقبة الاقل .

لقد حاولنا في المجلد السابق ان نضع هيكلًا لاستمرارية حياة علمية باللغة العربية هي استمرار مصغر جداً ، وأحياناً تشبيه هيكله للعلم العربي في القرون الوسطى .

ليس بعيداً عن البلدان الاسلامية ، انطلق الاوروبيون من الترجمات اللاتينية للمؤلفات العربية ، فاعطوا للعلم دفعة ضخمة . ان الفارق بين معالم العلم العربي المشرق ، في القرون الوسطى ، المستخدمة في البلدان الاسلامية ، وبين المستوى الذي وصل اليه العلم الاوروبي كان كبيراً لدرجة انه اصبح من الضروري ان يلجأ العلماء العرب أما إلى ترجمات المؤلفات الغربية ، وأما إلى دراسة هذه المؤلفات مباشرة من قبلهم .

وهنا أيضاً لم توضع دراسة تأليفية من اجل ترسيم هذا التطور في مجمل العلم في البلدان الاسلامية . ومن أجل محاولة توصيف المراحل ، فإننا سوف ننظر ، في بادئ الامر ، في الإطار السياسي وندرس فيما بعد وضع العلم في البلدان التي تتكلم العربية ، مما يعني العودة عموماً إلى دراسة العلاقات العلمية بين العالم العربي والغرب .

ذلك ان الحركة العلمية ، ابتداء من القرن التاسع عشر ، اخذت تتجه من الغرب نحو الشرق ، في حين انها في القرون الوسطى كانت تسير باتجاه معاكس . وعلى كل ، حتى في حالة التفهق ، استمر العلم العربي يؤثر اهتمام اوروبا ، انما من اجل غايات استثمارية ، اكثر مما هو من أجل البحث عن مكتسبات جديدة .

الاطار السياسي - بخلال القرون الاولى للاسلام ، كان خلفاء النبي محمد ، حماة وحراس الدين وكانوا قبل كل شيء ، قادة جيوش ، وائمة (ائمة في الصلاة) ، كما كانوا حكام الدولة .

وانشاء غزو فارس من قبل المغول ، سنة 1258 ، تمّ تدمير المراكز العلمية وبصورة رئيسية

بغداد تدميراً كاملاً . واطماً خان المغول الخليفة العباسي شهابك خيله . واستقر احد اعمام هذا الاخير في القاهرة ، بفضل بيبرس الذي حكم مصر وسوريا والحجاز واليمن وبلاد الفرات .

وأدى استيلاء الاتراك على مصر سنة 1517 إلى تغيير كل شيء . فقد اعطى السلطان التركي في اسطنبول لنفسه ، وبصورة تدريجية ، كل امتيازات الخليفة وانتزع أخيراً لقب الخلافة . الا ان احداً خارج الاراضي التركية لم يعترف له به ؛ ان السلطة الدينية للسلطان على المسلمين الذين يعيشون خارج تركيا لم تتقرر الا بموجب المعاهدة الروسية التركية التي عقدت سنة 1774 [ان هذا الكلام يحمل مسؤوليته التاريخية صاحب المقال . وهو غير دقيق وغير واقعي الا من وجهة نظر اوربية . ولو قرأ المؤلف حول نظرية المسلمين في انتقال الخلافة في القرون الوسطى لادرك ان السلطة تؤول إلى كل قادر . . (الترجمة)] .

وعرف القرنان التاسع عشر والعشرون تفتت الامبراطورية العثمانية . وشهد الدول الاوربية ، اضافة إلى عصيان الرعايا المسيحيين التابعين للسلطان ، جعل الامبراطورية تخسر تباعاً اليونان والصرب والاقاليم الرومانية (رومانيا) : انشاء دولة بلغاريا ، انفصال دوبرودجا ، وبوسنة والمهرسك (هرزغوفين) ، والباينا ومكدونية .

وحصل محمد علي ، عوضاً عن الاستقلال ، على التحرر الفعلي من الوصاية العثمانية وعلى الوراثة في ولايته .

وغيرت الحقبة الاستعمارية ايضاً مرة اخرى سمة الامبراطورية الاسلامية ، فاصبحت مصر تحت حكم مشترك فرنسي انكليزي ، ثم محمية انكليزية سنة 1882 ؛ واصبحت الجزائر محمية فرنسية سنة 1830 ، ثم مدت فرنسا حمايتها فشملت تونس سنة 1881 والمغرب سنة 1912 ؛ واحتلت ايطاليا ليبيا أو طرابلس الغرب . واثارت الامارات العربية التابعة للامبراطورية التركية بخلال الحرب العالمية الأولى ، ولم تحصل على الاستقلال الذي كانت ترغب فيه : فانتدبت فرنسا على سوريا ولبنان ؛ وكان على معظم الدول ان تنتظر الحرب العالمية الثانية لكي تنال استقلالها ، وكان على اخرى ان تقوم بالحرب من اجل التحرر .

وبعد الغاء الخلافة سنة 1925 تحولت تركيا إلى جمهورية . وبعدها تجزأ العالم الاسلامي تدريجياً ؛ وظهرت فكرة القومية العربية بانشار جامعة الدول العربية في آذار سنة 1945 ، وهي مؤسسة تتولى عدا عن دورها السياسي (الحفاظ على استقلال وعلى سيادة البلاد العربية) المساهمة على الصعيد الثقافي في اقامة « علم عربي » وذلك للمساعدة على اقامة لغة علمية عربية موحدة .

العلم العربي واوروبا - في القرون الوسطى كانت البلاد الاسلامية تتمتع بتفوق اكيد . فكل الاسماء الكبرى في العالم العربي كانت معروفة من طلاب اوربوا الوسيطة ، وترجمت مؤلفاتهم إلى اللاتينية ، ودرست ، وشرحت في الجامعات الأوروبية الرئيسية ، والمؤلفون الاغريق لم يعرفوا في اغلب الاحيان الا من خلال الترجمات التي تمت باللغة العربية .

ولكن هذا الوضع لم يدم طويلاً ، وبصورة تدريجية انقلب التيار لصالح العالم اليوناني اللاتيني . في المجال الطبي مثلاً تكاثرت في القرن الخامس عشر طبقات أبقراط وغالينوس بلغتها الأصلية .

والعلم الأوروبي الذي أخذ كثيراً عن العلم العربي في القرون الوسطى ، لم يعد له اتصال ولمدة طويلة مع هذا العلم الأخير . وإذا كانت الحركات العلمية لم يكن لها في البلاد الإسلامية تلك الضخامة التي تستحق الاهتمام ، فإن العلم الغربي عرف بذات الحقبة نمواً بلغ درجة عالية حتى أن البلاد الإسلامية لم تجد مفراً ، في القرن الثامن عشر ، لكي تخرج من تأخرها ، من الالتجاء إلى العلم الغربي الأوروبي لتنهل منه .

انما يجب أن نذكر أنه قبل عشرين سنة من اختراع المطبعة كان ينشر في بادو طبعة أصلية من مؤلفات أرسطو مع ترجمة لاتينية لشرح ابن رشد . وأنه في سنة 1486 نشرت في بريسيا ترجمة لاتينية لموسوعة الرازي المسماة الحاوي . وكذلك نشرت أول طبعة بالعربية لعناصر أقليدس وفقاً لشرح نصير الدين الطوسي في روما سنة 1594 .

وهناك فئة أخرى من المؤلفات العربية بقيت تجذب اهتمام العلماء في أوروبا . وقد اختار التراجمة اللاتين في القرون الوسطى ، من بين المؤلفات المشهورة في عصرهم . وفيما كان هؤلاء التراجمة يترجمون كان علماء الإسلام مستمرين في إصدار كتب ذات أهمية كبيرة ، وفي أغلب الأحيان أكثر كمالاً من كتب سابقيهم . من ذلك مثلاً كتاب « البساط » لابن البيطار ، والأزياج (جداول) الفلكية لأولغ بك ، كي لا نذكر إلا الكتب التي اشتغل عليها المستشرقون الأوروبيون .

النهضة المتأخرة للعلم في العالم العربي - أن الاتصالات بين البلاد العربية وأوروبا ، المتطورة جداً بخلال القرون الوسطى ، أخذت تضعف فيما بعد ؛ وفي أواخر القرن الثامن عشر ، عندما نزل بونابرت في الاسكندرية ، كانت هذه الاتصالات في المجال العلمي ، شبه معدومة ، من هنا الفارق الكبير الذي وجد يومئذ بين الحضارتين الشرقية والغربية ؛ ومن هنا أيضاً دهشة الشرقيين عند أول اتصال لهم بالعلماء الذين كانوا يرافقون الجيش الفرنسي .

انطلاقاً من هذه الواقعة يُعتبر أن حملة بونابرت إلى مصر - إذا وضعنا جانبها العسكري على حدة - كان لها أثر خيّر هو تعريف الشرق ، حيث كان العلم مجمداً في مظهره الوسيط ، بالإنجازات المتقدمة التي حققها العلماء الأوروبيون .

وكانت الصدمة عظيمة وكانت ردات الفعل مختلفة . فعدا عن أولئك الذين نسوا ما أكد عليه صانع الإسلام - وهو أن العلم له قرعان فرع الدين وفرع البدن « علم الأديان وعلم الأبدان » - والذين كانوا قابضين ضمن الدراسات الدينية الفقهية ، كان هناك العديد من الشرقيين الذين تمنوا بلوغ المستوى العلمي في أوروبا .

لا شك أنه كانت هناك تقييمات متشائمة ، مثل رأي ذلك المؤلف الذي أكد بأن الفرق بين

العلم الاوروبي ومعارف الشرق لا يمكن ان يزول . هناك رجل قاس هذا الفارق في الميدان العسكري ، وكان مقتنعاً بالعكس : انه محمد علي الذي اعطته مساهمته في الحرب ضد جيوش بونابرت فكرة واضحة جداً عن هذا التخلف الضخم . حتى اذا اصبح نائب ملك على مصر ، كان همه الاول تحديث جيشه . وعندها بدأت النهضة المتأخرة للعلم في البلدان العربية .

هذا الوعي لدى بعض المسؤولين في البلدان العربية ، وبصورة خاصة محمد علي جعل من الضروري تبني التدابير التي من شأنها استدراك هذا العجز : فكان انشاء مدارس مع معلمين من اوربا ، وكان إرسال الطلاب إلى بلدان اوربا .

وكانت هناك مشكلة اولية يجب حلها هي مسألة اللغة ، لأنه في البداية كان الاساتذة الآتون من اوربا يجهلون اللغة العربية ، وهي اللغة الوحيدة ، اضافة إلى اللغة التركية والفارسية ، التي كان يعرفها الطلاب .

وبانتظار وضع أدب وتكنولوجيا علميين من مستوى الادب والتكنولوجيا في اوربا ، كان لا بد من تأمين تشكّل كادرَات تحتاج إليها البلدان العربية اشد الحاجة . من اجل هذا كان الاساتذة الاوروبيون يعطون دروسهم بلغاتهم ، ثم يترجم المترجمون هذه المحاضرات للتلاميذ ، وينقلون إلى الاساتذة امثلة الطلاب . وكان لا بد من تدخل شخص ثالث هو المراجع الذي كان يمتلك عموماً اللغتين فيصح عمل المترجم ؛ ثم يحرر فيما بعد مدخلاً واستنتاجاً ويعطي عنواناً للمؤلف المحقق على هذا الشكل ثم يرسله إلى المطبعة .

وهكذا لعب اساتذة المدارس العلمية ، يساعدهم المترجمون والمراجعون ، دوراً كبيراً في تحرير المؤلفات الناتجة في معظمها عن جمع المحاضرات التي كانت تعطي للتلاميذ .

وكانت الترجمة تتم في بادئ الامر من الفرنسية والاطالية . وانشئت مدرسة للطب حديثة من قبل الطبيب الفرنسي انطوان بارتيليمي المقب بـ «كلوت بك» . وهناك فرنسي آخر هو الدكتور بيرون تعلم العربية على يد احد المراجعين المشهورين في المدرسة ، وهو الشيخ محمد بن عمر التونسي ، واستطاع ان يشارك في التعليم وفي الترجمة وفي المراجعة .

وبعد ذلك بقليل انشئت الجامعة الاميركية في بيروت حيث تمت ترجمات عن الانكليزية .

ان كل الترجمات في تلك الحقبة قلما قدرت حق قدرها فيما بعد ، فقد كانت تنفر الآراء العلميين من اسلوب كتابتها .

فقد كانت عناوينها نشرأ سجعاً ، مثل المؤلفات التي كتبت بُخلال الحقبة التي سبقت هذه النهضة ؛ ولم تكن هذه العناوين تنطبق لا على موضوع الكتاب ولا على العنوان الاصلي لذي اختاره المؤلف لمحاضراته . ولكن من الظلم رفض مجمل هذه المؤلفات التي كانت تعكس على الصعيد العلمي التعليم الذي حاول اساتذة جاؤوا من اوربا ادخاله ، اضافة إلى تعابير جديدة لا يمكن احتقارها من قبل علماء اللغة .

ان عالم اللغة يمتلك مصدراً آخر هو قاموس التونسي ، وهو موسوعة ذات استعمال سهل ، تحدد بشكل دقيق التعبير الطبي في ذلك العصر . وقد اخذ هذا القاموس عن قاموس طبي فرنسي قام الاساتذة الاكثر كفاءة في مدرسة الطب في القاهرة ، بترجمة تعابير الطيبة والمتعلقة بالعلوم الطبيعية إلى العربية و اضافوا إليها تعاريف العبارات الموجودة في قانون ابن سينا ، وتعاريف داود الانطاكي (القرن السادس عشر) .

يقول المؤلف :

« لم اكتف بالتعابير العربية ، بل ستجدون في قاموسي تعابير لاتينية وفرنسية وفارسية مستعملة باللغة العربية . والتعاريف مختصرة بالنسبة إلى الكلمات ذات المعاني الواضحة ؛ اما الكلمات ذات المعنى المشكوك فالشرح اطول » .

هذه الحركة الترجمية استمرت حتى ايامنا . ودراسة اللغات الاجنبية جعلت تدخل المراجع غير ذي جدوى ، فالتعليم العلمي اصبح في معظم الاحيان يتم بلغة اجنبية⁽¹⁾ .

والجدول التالي (صورة 33) يدل على اهمية الترجمات التي انجزت في مصر في مطلع القرن التاسع عشر ايام حكم محمد علي :

المواد المترجمة	ايطالي - عربي	فرنسي - عربي	فرنسي - تركي	عربي - تركي	تركي - عربي	فارسي عربي	المجموع
قواميس	1						1
أدب				1		1	2
تربية		1					1
منطق		1					1
تاريخ الفلسفة		1					1
التاريخ		8	4	2			14
الجغرافيا		3					3
وصف الرحلات		2		2			4
الجيولوجيا		1					1
علم الخرائط		3					3
علم الاجتماع		1					1

(1) نجد الملاحظة إلى أن بعض الدول العربية اتجهت في الآونة الأخيرة نحو التعريب حتى في مجال التعليم العلمي .

2	1				1	التنظيم السياسي والاداري
34		2		31	1	الطب البشري
2				2		الصيدلة
1				1		العلوم الطبيعية
3				3		الكيمياء
3				3		الزراعة
10	2	1	2	5		الهندسة
4				4		الهندسة الوصفية
1				1		الجبر
5		1		4		الحساب
2				2		علم المثلثات
4			1	3		الميكانيك
2				2		علم المائيات
						العلوم العسكرية
64	3		53	8		والبحرية
191	1	6	9	61	111	3
						المجموع

صورة 33- احصاءات عن الترجمات المحققة في مصر خلال القرن التاسع عشر (نقلاً عن الشيال).

النظرة المستقبلية - بوجه عام يمكن أن نذكر كاستنتاج ، ان العلم العربي ، ابتداءً من القرن الثامن ، برز في بادئ الأمر من خلال وجود حياة علمية مزدهرة في القرون الوسطى ، ومن خلال تأثير لا جدال فيه على العلم الأوروبي .

ورغم انكار المنكرين ، ورغم الانتقادات المرة واحياناً غير المبررة ، كانت الكتب العربية في القرون الوسطى ، بفضل ترجماتها اللاتينية وشروحاتها ، الكتب الرئيسية التي يتداولها طلاب الجامعات الأوروبية .

فضلاً عن ذلك ، نذكر استمرارية حياة علمية حتى في الحقبة التي تسمى حقبة الانحطاط . وإذا لم يكن بالإمكان الكلام عن جسم علمي متكامل ، فلا يمكن انكار الجهد البلي قامت به بعض الشخصيات البارزة التي تظهر اعمالها بارزة بين مجموع المجاميع والخلاصات ، وتبقى جديرة بسابقتها في القرن العاشر والعاشر عشر والثاني عشر والثالث عشر .

وأخيراً ، ابتداءً من مطلع القرن التاسع عشر ، يمكن الكلام عن تجدد في العلم العربي . وإذا كان هذا العلم قد بقي طويلاً حتى يهتدي إلى طريقه ، فذلك لانه توجب عليه ان يستدرك تأخيراً تفاقم ، كما كان عليه ان يتغلب على مصاعب لغوية . ان الاختياريين اعادة تأهيل اللغة العربية أو رفع مستوى العلم ، كان المشكلة الكبرى التي يجب حلها . وبحل هذه المشكلة ترتبط المهمة اللازمة من اجل استدراك الوقت المهدور .

وظهر رجل فعال . ففي اجد المؤتمرات العلمية العربية الحديثة الذي ضم اساتذة من جامعات البلاد العربية (وقد تمثلت فيه الجامعة الاميركية والجامعة الفرنسية في بيروت) تقرر ان تكون لغة التعليم العالي هي اللغة الوطنية اي اللغة العربية .

وحدت الجمعية اعضاء التعليم العالي على ترجمة المؤلفات المنشورة في البلدان ذات المستوى العالي إلى اللغة العربية ، واستتجت ما يلي « في اليوم الذي تصبح فيه المكتبة العربية العلمية مهمة بشكل كافٍ ، يصبح عندها استعمال اللغة القومية اي اللغة العربية ، ضرورة ملحة » . هذه الامنية اقرت بالاجماع . وهي تدل ، اذا كان من حاجة إلى دليل ، على ان علماء البلدان العربية يعملون على اغناء مكتبهم العلمية الوطنية ؛ وهم يرتضون من اجل ذلك ، وربما لزم من طويل نسبياً ، استعمال اللغات الاجنبية ، التي ما تزال في بعض البلدان العربية لغة التعليم العالي ، في معظم الكليات ومعاهد العلوم العربية .

وقد واجه هذا المؤتمر بالذات المقارنة بين كل الأنظمة التعليمية في البلدان ذات المستوى المرتفع واختار من بينها ، وبالشكل الاكثر موضوعية ، المناهج التي بدت له وكأنها الافضل .

عندما نعالج العلم المعاصر في البلدان العربية ، لا نسمح لانفسنا بالادلاء بآراء نهائية حول المستقبل ، انما نذكر الجهد الذي تبذله هذه البلدان من اجل تطوير علمها الوطني ، وهو جهد متجرد من كل تحيز . ان العلماء من ذوي الثقافة الغربية الانكليزية أو الاميركية أو الفرنسية ، يجاورون علماء دوسوا في بلدان الشرق .

وهذا الامر ربما يؤدي يوماً ما إلى حقبة جديدة من التألق في العلم العربي . وعندها يستطيع مؤرخو العلوم الكلام عن علم عربي في القرون الوسطى وعن علم عربي في القرن العشرين .

مراجع الفصل الخامس

ARTIN (Yacoub Pacha), *L'instruction publique en Égypte*, Paris, 1840; ID., *Lettres inédites du Dr Perron à M. J. Mohl (B.I.F., 5^e série, t. III, 1904, pp. 137-152); ID., Lettres du Dr Perron, du Caire et d'Alexandrie, à M. J. Mohl à Paris (1838-1854)*, Le Caire, 1911; Ash SHAYAL (Jamal ad-Dîn), *At-tarjima wa'l-haraka al-taqwîya fî ahid Muḥammad'Alî*, Le Caire, 1951; BACHATLY (Charles). Un manuscrit autographe de don Raphaël (B.I.E., t. III, 1931, pp. 27-35); ID., Un membre oriental de l'Institut d'Égypte: don Raphaël (1759-1831) (B.I.E., t. XVII, 1934-1935, pp. 237-260); BAINVILLE, L'expédition française d'Égypte (*Précis de l'histoire d'Égypte*, t. III, Le Caire, 1933); BEN YAHIA (Boubaker), *Ash Shaikh at Tûnusi et son dictionnaire*; BIANCHI, Catalogue général des livres arabes, persans et turcs imprimés à Boulaq en Égypte depuis l'institution de l'imprimerie dans ce pays (J.A., 4^e série, t. 2, 1843, pp. 24-61); BROCKELMANN (C.), *Geschichte der arabischen litteratur*, 5 vol., Berlin et Leiden, 1898-1942; CLOT BEY, La création d'une école médicale pour les femmes (*Cahiers historiques*, I (1948), pp. 245-49); *Encyclopédie de l'Islam* (divers articles); PERRON (J. H.), La balance de la loi musulmane, *L'islamisme*; TAJIR (Jaque), *Harakat at-tarjima bi misr khilal al-qarn at-tasā'ashar. Dar al-ma'arif Misr*; ZAIDAN (Gorgi), *Târîkh adab al-'arabiya*, t. IV.

- جمال الدين الشَّيَّال ، « الترجمة والحركة الثقافية في عهد محمد علي » ، القاهرة ، 1951 .
- أبو بكر بن يحيى ، « الشيخ التونسي وقلمومه » .
- شارل باشاتلي Ch. Bachatly ، مخطوطة من دون رافاييل .
- بيانكي Bianchi ، فهرس عام بالكاتب العربية ، الفارسية والتركية المنشورة في بولاق في مصر منذ بدء الطباعة في هذا البلد .
- جاك تاجر J. Tajir ، « حركة الترجمة في مصر خلال القرن التاسع عشر » ، دار المعارف ، مصر .
- جرجي زيدان ، « تاريخ آداب اللغة العربية » ، المجلد الرابع .

العلم في الهند من القرن التاسع عشر حتى ايامنا

في مطلع القرن التاسع عشر ، استمرت الهند تبذل جهودها للمحافظة على تراثها العلمي القديم في مواجهة العلوم المستوردة من الخارج . ولكنها عملت على اكتساب العلم الحديث الكوني حتى تتعلم وتساهم في تقدمه .

I - العلم التقليدي

كما سبق وأشرنا في المجلدات السابقة ، استبدلت النزعة القديمة إلى البحث العلمي في الهند عموماً ، بعقلية الدفاع عن الثروة المعرفية ، باعتبار هذه الثروة كملك خاص اساسي ، ابتداء من اللحظة التي اخذت فيها العلوم الغربية تدخل لا بفعل التبادل الحر بل بحكم انها من مجلوبات المستعمرين . لقد وقف العلم التقليدي تجاه العلم الذي ادخلته انكلترا ، في أغلب الاحيان موقف التحفظ ، وحتى المتجاهل بشكل منهجي ، كما فعل تجاه العلم العربي والفارسي . وبعض العلماء الهنود رفضوه بشكل كامل وآخرون ، اكثر تساهلاً ، واحسن اطلاعاً ، درسوا ، في ضوء المعارف الجديدة ، تاريخ هذا العلم التقليدي ، ويثبتوا انه هباً الفكر الهندي على تصور قوانين الطبيعة وعلى تفسيرها بعقلانية ، مما أهله للبحث العلمي الحديث ، شرط التخلي عن التزمّت - الذي تعلق به بشكل متأخر - وعن عصمية المؤلفين القدامى .

من جهة اخرى ، احتفظ العلم القديم بدور عملي اكيد . واحتفظ بتأثيره الضخم على الشعوب التي لم يتم تعليمها الا عن طريقه . وتنتج عن ذلك وخاصة في مجال الطب ، أن ينصب غالباً افكاره وطرقه في مواجهة افكار وطرق الوقت الحاضر . وهو ما يزال قائماً ايضاً بشكل علم تنجيمي يستخدم بذاته علم الفلك القديم ، ومعادلاته الرياضية .

الرياضيات وعلم الفلك - لم تعد الرياضيات وعلم الفلك القديمين والوسيطيين ، في الهند الحالية ، يدرسان لذاتيهما . انهما يدرسان من مؤرخين ينشرون أو يعيدون نشر نصوصهما ، ويفسرونها بالسكربتية ، وغالباً ما يترجمونها ويفسرونها باللغات الحديثة أو بالانكليزية .

واذا كان مؤرخو العلم الهندي يشكون احياناً ، في المقارنات التي يجرونها مع علم البلاد

الأخرى في العالم ، من توثيق غير كافٍ ، فإن هذا الواقع ليس مقصوراً عليهم ، فالمؤرخون الغربيون يفتقرون غالباً إلى كتب وإلى معلومات حول العلم الهندي . وجددير بالذكر ، في بعض الأوساط ، ان الأعمال التاريخية ، تميل إلى تبرير التراث ، وحتى إلى تمجيد قيمته بالنسبة إلى العلم الحديث ، في محاولة جاهلة لاعطاء الهند اسبقية في العديد من الاكتشافات ، لا في حالات مبررة ، بل وايضاً ، وفي كثير من الاحيان ، بتأويلات مفتعلة لمعطيات نالها وقد عرفت اوروبا ايضاً مثل هذا التزمت الوطني .

واخيراً ما يزال التنجيم يحتفظ بانتشار كبير ، وما زال يلجأ إلى الحسابات التقليدية السائدة في علم الفلك القديم . في حين ان علم التنجيم الحديث يستخدم بذاته معطيات وحسابات علم الفلك المعاصر ، ولكنه يرفض احياناً الطرق القديمة أو يعتمد معطيات المراصد الحديثة ، ثم يؤولها فيما بعد وفقاً للأساليب التقليدية . ان علم التنجيم الهندي لا يستمر إلا ، في الهند ، كما في اوروبا فضلاً عن ذلك ، الا باعتماد « نوع من الاستيفاء » . وقد فتح المجال امام تحرير وامام نشر العديد من الكتب بالسنسكريتية وبمختلف اللغات الحالية في الهند مثل المؤلف الحديث « جيوتي - شانار - فاخي - شايا - مرودام » للمؤلف م . سوندارا - راجا - كاريار ، باللغة التامولية (1956) .

والدراسات الحيادية في تاريخ الرياضيات وعلم الفلك الجارية في الهند ، في ضوء العلم الحديث ، مهمة ، مثل ذلك « تاريخ الرياضيات الهندية » للمؤلف ب . داتا وآ . ن . سنخ (مجلدان ، لاهور ، 1935-1938) و « تاريخ علم الفلك » باللغة الماراثية بقلم س . ب . ديكشيت . وهي ثمينة من حيث التسلسل التاريخي ، خاصة فيما يتعلق بتاريخ المذونات والمستندات من كل نوع ، تلك هي بصورة خاصة حالة الكتاب الضخم « التقريعات الهندية » للمؤلف سومايكانو بيلاي . وهناك أعمال أخرى ، رغم أنها تمتاز بإيمان وطني محترم ، جذبت للخير الانتباه نحو مسائل دقيقة حول تأويل معطيات فلكية قديمة ، هي للأسف غير كافية بذاتها . ذلك هو حال قسم من دراسات ب . ج . تيلاك Tilak حول علم الفلك الفيدى ، الجارية على موازاة أعمال مماثلة قام بها ه . جاكوبي في ألمانيا .

ان الفيزياء ، البدائية جداً في العلم التقليدي ، قد دخلت عملياً بفضل التعليم الاوروبي . لقد عُلِّمت بالسنسكريتية في « بينارس كوليج » ، ابتداء من سنة 1848-1849 ، وعُرِضت فيها وفقاً لاشكال فلسفة « نيايا فيسيشكا » حيث وضع المنطق ، وحيث توجد بداية تحليل لمحتوى الطبيعة بشكل هيكلاً مشوشاً للفيزياء .

الكيمياء - كان تاريخ وتأويل الكيمياء القديمة موضوع بحوث مهمة من قبل الكيميائي ب . ش . راي Ray (1861-1944) . فضلاً عن ذلك ، ان الادوية الكيميائية في الأجزاء التقليدية ما تزال مستعملة . وبحكم كونها محضرة على يد شفاة منفردين ، معرضين لاختطاء تحديد هوية المستحضرات المفروضة المدونة في النصوص ، كون المواد الطبيعية المستعملة هي في اغلب الاحيان غير نقية ، فانها قد تكون خطيرة ، خاصة عندما تحتوي الزئبق . وهي ، بالعكس تكون بدون مفعول اذا استعملت بحذر شديد . وبالمقابل ، إذا حضرت في منشآت خصوصية .. احياناً

من النمط الصناعي ، مثل « رازاشا لا اوشا داسرام » ، غوندا ل في غوجرات - فإنها قد تقدم ضمانات من حيث نسب مكوناتها ومن حيث الثبوتية في المفعول ، وهي تدخل في تركيب العديد من المستحضرات المنشطة ، والشعرية والتزينة الخ . تباع مباشرة إلى الجمهور ، بمساعدة دعابة غزيرة ، في دور متخصصة وفي الاسواق .

الطب الايورفيدي والطب الحديث - ان ادب « الأيورفيدا » يعلم كما يعلم ادب الرياضيات وعلم الفلك ، واكثر من ذلك ايضاً ، من اجل فائدته العملية . وهويدرس من قبل مؤلفين منفردين أو من قبل جمعيات لومدارم خاصة . والمنشور الأهم من الناحية التاريخية هو « كاراكاساميهتا » ، نشرته جمعية « شرى غولا بكونفريا أيورفيديك » مع ترجمة إلى الهندية ، والغوجراتية والانكليزية ومع مجلدين من الدراسات والمراجع ، باشراف دكتور م . ميهتا .

زيادة على كتب الوصفات الشعبية ، تم ايضاً نشر مختصرات لاستعمال طلاب العديد من الكليات الطبية الايورفيدية الموجودة إلى جانب كليات طبية حديثة (تسعون لقاء ستين كلية - حديثة) . وبالنسبة الى مواد ، كالنشرية ، فقد عولجت من قبل التعليم القديم بشكل غير كاف اطلاقاً ، وتدخل هذه المؤلفات المعطيات العصرية ، في حين تحتفظ بالشروحات التقليدية في قسم من علم الامراض ، وفي الاستطباب المقابل وكذلك في علم الصحة الغذائية والعامة .

في الكليات التقليدية ، توضع التشخيصات في اغلب الاحيان ، سندا للسمات العيادية التي تضعها نصوص سوشروتا ، كاركا ، فاغبهاتا ومادهافا . ان المؤشرات الاستطبابية المنبثقة عنها تؤخذ من نفس هذه المؤلفات ، وكذلك من العديد من النصوص الاخرى القديمة المخصصة للوصفات الطبية . ان التحليلات البسيطة ، تحليلات البول خاصة ، تؤخذ سندا للطب الحديث . والجراحة هي ايضاً ذات سمة عصرية .

إلى جانب الطب الايورفيدي يمارس ايضاً الطب التقليدي المسمى « سيدها » و اغلب وصفاته مأخوذة عن الطب العربي او من الايورفيدا . والطب العربي نفسه ، بقي محترماً تحت اوصاف « الطيبا » (من العربية « الطب ») و « اليوناني » (« اغريقي ») عند المسلمين ، وهو يعلم في بعض الاحيان في نفس الكليات التي تدرس الطب الايورفيدي ، وله ايضاً عدة كليات متخصصة .

ويعمل الممارسون الايورفيديون في كل مكان : في المجتمعات المدنية إلى جانب الاطباء الذين يطبقون الطب على الطريقة الانكليزية ، وفي القرى حيث يمارسون المهنة وحدهم في اغلب الاحيان . هذا الوضع يجعل - حتى خارج أنصار الايورفيدا ، المقتنعين بتفوقها على الطب الحديث - العديد من الشخصيات الهندية تؤمن بان معونة الاطباء الايورفيديين ما تزال ضرورية لخدمة الصحة العامة ، على الاقل بانتظار التجهيزات الطبية الحديثة في كل البلد . من هنا الفكرة القائلة بان الطب الايورفيدي يجب ان ينظم بالكامل وان دراسات تتيح التعرف عليه جيداً وتطبيقه بجدوى وبدون خطر ، يجب ان تنظم بصورة رسمية . فضلاً عن ذلك من المؤكد ان تعليم المبادئ من الطب التقليدي ، التي تم التثبت منها مسبقاً ، يمكن ان يقدم خدمات كبرى ، وان

دراسة معمقة لمفاعيل بعض الانظمة الغذائية (الحمية) وبعض المعالجات التقليدية قد تغني الطب الحديث : ان العديد من العقاقير الهندية سبق واعتمدت في مجال الاستطبام العام . فضلاً عن ذلك ، لما كانت الادوية الايورفيدية ارفع ثمناً من المستحضرات الصيدلانية الجديدة ، فهي وحدها في متناول غالبية السكان الفقراء ، الذين لا يستطيعون بدونها تلقي العناية الطبية .

وبصورة لاحقة ، يمكن القول ايضاً ان الشروط المفروضة بموجب الطب التقليدي ، من اجل جني النباتات ومن اجل تحضير العقاقير العشبية ، يمكن ان تتضمن نوعاً من الثبوتية في نسبة العناصر النشطة ، وان تتبع تداولاً نوعاً ما منتظماً في المعايير .

على هذه البراهين العملية كلها ، يرد انصار الاستبدال السريع - ما امكن - للطب التقليدي المحلي ، بالطب الشامل ، بأن الاعتراف وبان التنظيم الرسميين للدراسات الايورفيدية سوف يعطي - وقد اعطى سابقاً عن حدودها - مصداقية لا تستحقها « الايورفيدا » ، مما يؤخر التحديث العام الضروري . فضلاً عن ذلك ان الانشاء التدريجي للعديد من المستشفيات او العاوي المجانية ، يجعل بصورة تدريجية الاطباء العصريين في متناول الطبقات الفقيرة ، بصورة افضل من الطب الايورفيدى الرخيص الثمن ولكن غير المجاني .

ان السلطات العامة مدعوة من جهتين إلى هذه المسألة ، مسألة الصراع بين الطب التقليدي والطب الحديث ، الموجودة في العديد من بلدان آسيا ، حيث ما يزال الأول يحتفظ برصيد مهم ، وحيث الخيار ما يزال معدوماً بين المجالين : الطب التقليدي والطب الحديث .

II - العلم الحديث

بخلال القرن التاسع عشر ، ساعدت السياسات التربوية « لشركة الهند الشرقية » ، والتي تابعها التاج البريطاني ، التعليم الانكليزي الابتدائي ولكنها لم تساعد البحث العلمي . لقد دُشن هذا الأخير ، بصورة مستقلة ، في كلكتونا ، بفضل « الجمعية الآسيوية في البنغال » ، وهي جمعية ضمت بأن واحد أعضاء هنوداً وإنكليزيين ، وكان جهدها يتركز بصورة رئيسية على الدراسات الهندية ، ويتناول ايضاً الرياضيات ، والفيزياء ، وبصورة خاصة العلوم الطبيعية ، ولكن أدوات البحث كانت قليلة التطور في المستعمرة ، الا في المرافق الكبرى التي أنشئت لاحياء موارد البلد ، مثل « ادارة المسح الجغرافي » ، و« المسح النباتي » ، و« المسح الحيواني » ، و« مسح الهند » (مرقف جغرافي) و« المجلس الهندي للبحث الزراعي » المؤسس سنة 1929 . الخ . وهكذا ، لم يكن امام الهنود من ذوي المواهب العلمية ، الا الانصراف اما الى الدراسات التاريخية حول العلم القديم ، سنداً للتنتاج المأخوذة عن العلم الحديث ، واما إلى البحوث الرياضية التي لا تتطلب أي تجهيز .

في المجال الرياضي ، قدم البعض مساهمة استثنائية ومنهم : س . رامانوجان (1887-1920) الذي مات باكراً في لندن . الا ان تجارب متنوعة تستخدم وسائل بسيطة نوعاً ما ، امكن تنفيذها

بنجاح من قبل علماء امثال . ك . ف . رامان في الفيزياء ، وجاغاديش شاندرابوز في بيولوجيا النبات . ان تجارب هذا الاخير بقيت كلاسيكية ، رغم ان التفسير الذي اعطاه لها ، فيما يتعلق بوجود « حساسية في النباتات » ، قد أعيد النظر به . وتم تأسيس بعض مؤسسات البحوث منذ مطلع القرن العشرين ، مثل « المعهد الهندي للعلوم » في بانغالور سنة 1909 ، و « المجلس الهندي للبحث الطبي » سنة 1912 . وتأسست مؤسسات اخرى فيما بعد خاصة في « معهد طاطا للبحث الاساسي » في بومباي ، كما تأسس « معهد باستور » ، في الجنوب في كونور تقليداً لمعهد باستور في باريس ، انما دونما الانتساب إلى هذا الاخير . عدا عن ك . ف . رامان ، اشتهر فيزيائيون آخرون ، قبل نهاية الحقبة البريطانية ، مثل س . ن . بوز الذي تعاون مع انشتين على اثر اكتشافاته ، الشخصية ، واكتشافات العديدين الذي يديرون اليوم البحوث الهندية في الفيزياء التجريبية أو الرياضية : ه . ج . بهابها ، م . س . كريشنان ، الخ .

ومنذ وصول الهند إلى الاستقلال سنة 1947 ، خصصت جهداً كبيراً في التجهيز من اجل البحث العلمي ، الذي اعتبر مطلباً قومياً . وانشئت وزارة خاصة للبحث العلمي والعلاقات الثقافية . ويشرف مجلس للبحث العلمي والصناعي على العمل في خمسة وعشرين مختبراً أو معهداً وطنياً للبحث الاساسي أو التطبيقي ، ومعظمها انشئ حديثاً . ان المجموع العام لنفقات هذا « المجلس » بلغ في سنة 1960-1961 ، 69 مليون روبية هندية .

واشهر المؤسسات الوطنية هي المختبر الوطني للكيمياء في بونا ، المختبر الوطني للفيزياء في نيودلهي ، المختبر الوطني للتعدين في جمشيدبور ، المعهد المركزي للبحوث الكهربائية والكيميائية في كارايكودي ، المعهد المركزي للبحث في الادوية في لاكنو .

فضلاً عن ذلك ، طوّرت المرافق الكبرى الرسمية التي انشئت تحت ظل النظام البريطاني بحوثها . وانشئت وزارة للطاقة الذرية والحق بها « منشأة الطاقة الذرية » في ترومي (قرب بومباي) ، و « القسم الذري المعدني » و « الترافانكور مينرال ليمتد » و « انديا رايبريث ليمتد » . واسند البحث الاساسي في مجال الذرة والرياضيات إلى « معهد طاطا للبحث الاساسي » . وهناك منشآت اخرى ، تدعمها مبادرات خاصة وتمولها الحكومة مثل « بوز انستيتوت » في كلكتا ، وهذا المعهد مخصص للبيولوجيا النباتية ، و « بيربال ساهاني انستيتوت » لعلم النبات الاحفوري في لاكنو ، ثم هناك « مختبرات البحث الفيزيائي » في احمد آباد ، وهو مركز بحوث في فيزياء الكرة الارضية . اما المؤسسات الجديدة للبحوث التقنية فهي ايضاً أكثر بكثير .

ويتلقى عدد من المراكز العلمية ، مساعدة اجنية في المعدات وفي الاشخاص ، وعلاقاتها مع المراكز العالمية الرئيسية واسعة جداً . يدعو « معهد طاطا للبحث الاساسي » كل سنة رياضيين وفيزيائيين من العالم اجمع للمشاركة في اعمال مشتركة . ويتعاون « المجلس الهندي للبحوث الزراعية » مع المعهد الفرنسي في بونديشيري Pondichéry الذي يتولى وضع خارطة للبياسط النباتي في الهند ، ويشرف على مختبر للمالينولوجيا (علم الطلع) .

وهذا المعهد الاخير اسسته فرنسا بالاتفاق مع الهند سنة 1955 ، بعد تحويل ادارة المنشآت الفرنسية القديمة ، من اجل اقامة تعاون دائم بين هذين البلدين في مختلف مجالات العلوم الطبيعية والعلوم الانسانية .

مراجع الفصل السادس

[J. R. BALLANTYNE], *A Synopsis of science from the stand-point of the Nyaya philosophy*, sanskrit and english, vol. I, Mirzapore, 1852; B. DATTA et A. N. SINGH, *History of Hindu mathematics*, 2 vol., Lahore, 1935-38; L. V. GURJAR, *Ancient Indian Mathematics and Vedha*, Poona, 1947; Swamikanu PILLAI, *An Indian Ephemeris*, 7 vol., Madras, 1922; B. G. TILAK, *The Orion, or Researches into the Antiquity of the Vedas*, Bombay, 1893; M. SUNDARARAJĀCĀRYAR, *Jyotishasarva-vishayanrudam* («Ambroisie de toutes les matières de la science des astres»), Srirangam, 1956; P. Ch. RĀY, *History of Hindu Chemistry*, 2 vol., Calcutta, 1902-1909; P. RĀY, *History of chemistry in ancient and medieval India, incorporating the History of Hindu chemistry*(par P. Ch. RĀY), Calcutta, 1956; *The Caraka samhita* ... edited and published ... by Shree Gulabkunverba Ayurvedic Society, 6 vol., Jananagar, 1949; Gananath SEN, *Pratyak shasariram, a text-book of human anatomy in sunskrit*, 3^e éd , Calcutta, 1924; *India 1961. A Reference Annual*, compiled by The Research and Reference Division. Ministry of Information and Broadenscing Government of India, Delhi, 1961.

انتشار العلم في فيتنام من الاحتلال إلى زوال الاستعمار

في اواخر القرن التاسع عشر عُزيت بلدان جنوب شرق آسيا بصورة تدريجية بالعلم الاوروبي . ومثل فيتنام معبر بشكل خاص ، ويمكننا من ابراز السمات الأساسية لهذا الولوج . وايضاً ، وبدلاً من وضع جدول بالانجازات العلمية التي تحققت بخلال الحقبة الاستعمارية ، فضلنا ان نركز على الظروف التقنية والنفسانية التي بدونها لم تكن فيتنام لتعرف لا العلم الغربي ولا علماءه الاولين .

الصراع بين المعرفة الفيتنامية والعلم الغربي - يمكن تعيين بداية هذا الولوج سنة 1862 وهي سنة ضرب توران بالقنابل ونقطة الأعمال العدائية التي أدت إلى معاهدة سنة 1862 التي جعلت من مقاطعات : بيان - هوا ، جيا - دين ، ودين تونغ (كوششين) مقاطعات فرنسية .

في تلك الحقبة كانت الثقافة الفيتنامية متمحورة حول اعداد مسابقات تسمح ، كما هو الحال بالصين ، بالوصول إلى مهنة المندرية أو المرتبة العليا . وبرنامج هذه المسابقات كان قديماً وضيقاً لا يترك أي مجال للعلم ولل فلسفة الطبيعية ؛ كان مقصوراً على البلاغة الشكلية المسرفة وكان يتركز على الذاكرة .

ان التأثير المثلث للكونفوشية (احترام التراث والاخلاق) ، والطاوية (امتداح عدم التصرف ، قوحي) والبوذية (بطلان اشياء هذا العالم) ، يضاف إلى التشريط الكتيبي للافكار من اجل تقليص مكانة العلم والتقنية في الثقافة الوطنية .

ولهذا لم تنكسر الجيوش الفيتنامية امام الجيوش الفرنسية (قليلة العدد) لنقص في الشجاعة ، بل بسبب القارق الضخم الموجود بين قوتها وقوة خصومها . وعلى الصعيد الاخلاقي ، لم يكن الامر كذلك ابداً ، وفي النقاشات الفلسفية ، كان تفوق المبشرين الكاثوليك لا يبدو حاسماً .

فقد كان الفيتناميون يشعرون اذاً بالحاجة إلى اصلاح عميق يتناول الاقسام المهترئة والثغرات في ثقافتهم . وبالمقابل حرصوا على الاحتفاظ بكل الاقسام الصالحة (أدب ، فلسفة ، دين)

وتفادي التصفية الكاملة لقيمهم ، مهما كان الثمن ، خشية فقدان الأمة لشخصيتها التاريخية . هذه الرغبة في التوازن بين الحفاظ بالتراث الاخلاقي ، واكتساب التقدم المادي ، ما تزال تلهم المثقفين الفيتناميين المعاصرين .

بدايات الحركة الاصلاحية الفيتنامية - قبل اجتياح فيتنام بكثير من قبل الغرب ، جهد الفيتناميون في زيادة قوتهم التقنية والعلمية بالعديد من القروض من الصين . وقد لعب السفراء والمسافرون دوراً كبيراً في التطور التقدمي للحرفية الوطنية .

الا ان بعض المفكرين نظروا إلى ابعد ومنهم هو كوي لي في القرن الخامس عشر ، ونغوين ترونغ تو في القرن التاسع عشر . وعلى أثر الهزائم العسكرية التي منيت بها ملكية الامبراطور تودوك (1847-1883) ، نمت حركة اصلاحية على موازاة حركة المقاومة المسلحة . وطالبت تعليم الناشئة اللغات والعلوم الاجنبية ، وانشاء منح للسفر إلى الخارج . وبقي هذا البرنامج معتمداً من كل الحركات الوطنية السرية ، مثل الاتحاد من اجل بعث فيتنام ، حوالي سنة 1904 ، بقيادة فان بوا . شو والذي أصبح مدرسة رسمية لعاصمة الشرق ، ابتداءً من سنة 1907 .

وحاول الامبراطور تودوك سنة 1868 ان ينشئ مركز تعليم علمي وتقني بقيادة اساتذة اجانب وكتب مستوحاة من الكتب الغربية . ولكن ما كان ممكناً في اليابان ، منذ 1853 ، لم يكن كذلك في فيتنام . فالملكة الأم واعيان البلاط أخذوا يعادون كل تجديد . ومن جهة اخرى خلقت متابعة الحرب ضد فرنسا من سنة 1858 إلى 1883 وضعاً قلماً يساعد على اصلاح جذري لنظام التعليم وفقاً للنموذج الاوروبي .

ويدلّ من ان يظهر هذا الاصلاح بشكل تعابير تقنية وثقافية ، لم : تطع إلا ان يأخذ مكانه في الصعيد السياسي والعاطفي .

فقد كان هناك فرق رئيسي بين المفاهيم الاوروبية في التعليم المستقل عن كل فكرة اخلاقية أو سياسية ، والهدف الموضوع للمدارس الفيتنامية . لقد كان الامر يقصد به لا التثقيف بل التكوين « ثم ربط الافكار إلى الابد » (وهذا التعبير هو للامبراطور كانغ هي) للتمسك بالعادات والموروثات وبقوانين الامبراطورية . وكانت التربية ، اكثر من القمع بكثير ، مفتاح العقد في النظام السياسي الصيني الفيتنامي ، وكل تغير في هذه المؤسسة الاساسية كانت له عواقب خطيرة جداً .

الاستعمار . اصلاح التعليم ونتائجه - لم تستطع المناهج التربوية والتعليمية ان تتغير بصورة جلية إلا مع النظام الاستعماري الذي ألغى في سنة 1915 ، في الشمال ، وفي سنة 1919 في الوسط ، الامتحانات الادبية وشكلياتها المعتادة . في التعليم الابتدائي ، اصبحت الفرنسية والفيتنامية إلى جانب المعلومات الكلاسيكية الصينية ، ثم استبعدتاها سريعاً . ان الحروف الصينية الشعبية القديمة استبدلت بتدوين لاتيني ، مما حدّ من الامة وخفّضها إلى نسب ضعيفة .

واتاح انتشار اللغة الفرنسية تسرّب اللغات الغربية الاخرى بصورة تدريجية ، ومن هنا تسرب فكر البحث العلمي والثقافة الشخصية .

ووضع التعليم الثانوي موضع التنفيذ في الحال . وانشئت جامعة من النمط الفرنسي في هانوي سنة 1907 وكانت في بادئ الامر بدائية ، ثم عززت بشكل ضخم سنة 1917 ، وامتدت إلى سايفون سنة 1946 . واستكملت با إنشاء العديد من المنح الدراسية في الخارج . ولعبت « عودة فرنسا » دوراً مهماً في فيتنام سواء على الصعيد السياسي ام على الصعيد الثقافي . واخيراً اجتذبت الصحف والمجلات والكتب والأعمال الفنية الشبان نحو الثقافة الغربية وخاصة نحو العلم .

وبدأت هذه الحركة مع بداية القرن . ولكن بعد سنة 1930 بشكل خاص تميزت شبيبة متكاثرة بهذا الشأن ، سواء في فيتنام بالذات ام في فرنسا حيث وصلت إلى المدارس الكبرى العلمية والتقنية . ان ضخامة هذه الحركة الاخيرة قلما تأثرت بزوال الاستعمار .

الشعب الفيتنامي والعلم - بفضل المؤسسات التي اقامها النظام الاستعماري (وربما بدون علمه) تم تحقيق برنامج المصلحين الأوائل من الوطنيين ، بشكل مختلف قليلاً عن ما كانوا يأملون . فقد اندفع المثقفون الفيتناميون متحررين فعلاً من الثقافة الصينية وطالبوا بنصبيهم من الثروة الكونية . وعلى الصعيد العلمي بشكل خاص ، بدا الاكثر موهبة من بينهم مساووين للأوروبيين ، محطمين هكذا جو التبعية والاعتبار الذي كان ، اكثر من القوة بكثير ، سند الاستعمار . إن فكرة التبعية المرتكزة على قيم أخرى غير الأهلية الشخصية ، بدت غير محمولة في نظر النخب الفيتنامية المنحرة ، فقد اقترن الانعتاق الفكري بالاستيلاء على التحرر السياسي . وأصبح من المؤكد ان الوطنية المتعصبة والمحافظة لم تكن صحيحة الرؤية . ان دراسة العلوم والتقنيات كانت اكثر من الاخلاق الكونفوشية ، معلمة الحرية . هذه الدراسة وحدها تستطيع الوصول إلى الاستقلال الوطني .

ولهذا نسجل على موازاة ظهور المطبعة ، نشر العديد من الترجمات ، وتبين التعبيرات التقنية الغربية . منذ بداية القرن وجدت المعجمية مكاناً واسعاً لها في بعض المجالات مثل نام فونغ ، وتري تان ، المدعومة بالعديد من النشرات المعاصرة مثل باك كوا ، جياو - دوك - فو - تونغ ، فان هوان تشاو ، في جنوب فيتنام ؛ فان سوديا ، كوا هوك ، تونغ توك ، في شمال فيتنام . وتم تأليف معجمات علمية ، بمساعدة نماذج صينية يابانية في بادئ الامر ثم المعجمية الشائعة بعد ذلك . ومن المعجمات الأولى والاشهر كانت معجمية هوانغ كزوان هان (هانوي ، 1942) .

والعديد من الاعمال من هذا المستوى موجودة الآن ، ويكسب تعليم العلوم باللغة الفيتنامية باستمرار ارضاً جديدة : فقد أصبح رسمياً في هانوي سنة 1946 ، وفي سايفون سنة 1961 .

هذا الفارق يدل على أن هذا القياس كان مشروطاً بعدة عوامل لعبت ادواراً مختلفة في مختلف بلدان جنوب شرق آسيا . ولم يكن الحل سهلاً . فالاساتذة لم يكونوا مؤهلين من زمن طويل للتعبير باللغة الفيتنامية . والكلمات لم تكن مترجمة بشكل موحد . ومن جهة اخرى يتطلب صنع الكتب الصغيرة والكبيرة الاساسية عن طريق ترجمة الكتب الغربية ، اشخاصاً مميزين ، كثيري العدد وحسن التجهيز . فضلاً عن ذلك ان هذا العمل له فائدة ضعيفة جداً ، بسبب تطور العلم بسرعة وبسبب ضالة عدد الكتب الصادرة .

وايضاً إذا كان تعليم العلوم باللغة الفيتنامية قد أصبح جاهزاً على مستوى ابتدائي ومهني ، فان الأمر لم يكن كذلك بالنسبة إلى التعليم العالي وإلى البحوث . ومشكلة اللغة تقارب ايضاً مشكلة العلاقات بين الثقافتين الفيتنامية والغربية ، والتي ظهرت تجاهها ثلاثة مواقف نموذجية :

أولاً : ان الثقافة واحدة فلا يمكن تمثيل قيم منها وترك القسم الآخر ؛

ثانياً : يجب تدمير كل شيء وبناء شيء ما من جديد (الماركسية) ؛

ثالثاً : يجب الاحتفاظ بالروح وبالماضي ، واكتساب العلوم والتقنيات الغربية . وهذا الموقف الأخير الذي ساد عموماً في فيتنام المعاصرة ، اتاح تأهيل شخصيات علمية ذات فكر منفتح بشكل واسع ، عرفت كيف تحقق التوازن المنسجم بين العلم الغربي ، واسلوب العيش الفيتنامي .

انتشار العلوم في فيتنام - في فيتنام الجنوبية قامت ثلاث جامعات (سايفون ، هوي ، دالات) تنقسم بشكل غير متساو بالنسبة إلى سكان عددهم 10 ملايين ، 1906 طلاب في الطب والصيدلة و 3160 طالباً في العلوم .

وكان فيزيائيون وبيولوجيون فيتناميون من ذوي القيمة يعملون في مختلف مختبرات البحث الفرنسية : مثل المجلس الوطني للبحث العلمي ، ومختبر اورسي ، ومختبر ساكلي ، ومدرسة دار المعلمين العليا ، الخ . وهكذا اشتهر نغوين فوك بوهو ، مدير إحدى المجموعات في معهد كوري ، بأعماله حول السولفون ضد الجذام ، والهيديرازيد ضد السل ، والمواد المسببة للسرطان أو الكابحة له .

ورغم وجود طب صيني فيتنامي ناشط ومركز على بعض الكتب الممتازة احياناً ، تقدم الطب والصيدلة الغربيان ، منذ ظهورهما ، تقدماً سريعاً . وقد أثار غزو فيتنام بمناهج استيطابية اجنبية وما يزال يثير ردات فعل في العقلية الشعبية . وبعض هذه الردات ، على الصعيد الاقتصادي ، تفسر اقتران حقبة طرد الاستعمار بعودة إلى الاستطباب التقليدي ، الأقل كلفة بكثير .

ولكن على العموم ، وخاصة في المراكز المدنية استبدل هذا الاستطباب بالطب العلمي . هذا الاستبعاد يعود الفضل فيه إلى الصانع المشتغلين في المختبرات ، وإلى مسؤولي الصحة ، وإلى الدكاترة في الطب والصيدلة الحكوميين المتدربين في مؤسسات باستور وفي المدارس أو كليات الطب في هانوي وسايغون . فتحت ادارة الكسنسدر يرسين Yersin (1863-1943) الذي أدى اكتشافه للعصية الطاعونية في هونغ كونغ (1894) إلى جعله مشهوراً ، وتخرجت اول دفعة من الاطباء الهند صينيين من هانوي Hanoi سنة 1907 . وتخرجت اول دفعة من الدكاترة في الطب سنة 1936 . وبدأ التعليم الطبي - الصيدلاني في سايغون سنة 1947 . ومنذ سنة 1962 أصبح لكل من الطب والصيدلة كلية على حدة ، في حين انشئت كلية مختلطة في هوي سنة 1961 .

وتأكدت قيمة وقدرة التكيف لدى الاطباء المؤهلين في فيتنام وتمثلت بحالة نغوين فان تنه . فقد تخرج من الدفعة الاولى من الاطباء الهند صينيين أو ضباط الصحة (1907) ، وتجنسد ونقل إلى

فرنسا سنة 1914 . والتفت اليه البروفسور لاندلونف ، فتابع دراسته واصبح يعمل داخل مستشفيات باريس (1917) . واتبع هذا المثال بعد ذلك على نطاق واسع .

تقيم فيتنام علاقات علمية مع اشهر المراكز العلمية العالمية . ولقد ارسلت العديد من اصحاب المنح الدراسية الذين بفضل اجادتهم للفرنسية والانكليزية ، استطاعوا بلوغ درجة جدية على صعيد البحث أو التقنية . وتعتبر فيتنام من هذا الوجه أحد بلدان جنوب شرق آسيا ذات النمو الملحوظ تماماً .

مراجع الفصل السابع

BUU HIEP, *La médecine française dans la vie annamite*, Hanoï, 1936; DANG NGOC THUAN, *Croyances et pratiques obstétricales traditionnelles des Vietnamiens*, Saïgon, 1961; ĐÀO DUY ANH, *Vietnam van hoa su cuong* (Abrégé de l'histoire de la civilisation vietnamienne), Saïgon, 1939; HUARD (P.) et DURAND (M.), *Connaissance du Vietnam*, Hanoï, 1954 (Publications de l'École française d'Extrême-Orient); LE QUY DON, *Kiên van tiêu luc*, 1777; LE VAN TRIEN, *Les préjugés des Vietnamiens dans la conception de la médecine occidentale*, Hanoï, 1952; LICH SU THU-DO HA-NOI (*Histoire de la Capitale Hanoï*) *Nhà Xuất bản Su-hoc-Viên Su Hoc*, Publications de l'Institut des Etudes historiques, Hanoï, 1960; NGUYEN VAN HUYEN, *La civilisation annamite*, Hanoï, 1944; NGUYEN VAN NHU, *L'enseignement médical au Vietnam à la croisée des chemins*, Saïgon, 1960; PHAN HUY DAN, *Quelques suggestions sur la réorganisation sanitaire au Vietnam, tirée de son histoire médicale*, Paris, 1949; PHAM VAN DIEN, *Quelques suggestions sur l'éducation de la masse et sur l'organisation d'un service en matière d'hygiène sociale au Vietnam*, Hanoï, 1953; THÀNH-TICH, *Nam nam hoat-dông của Chính-phu* (Résultats de cinq années d'action du gouvernement), Saïgon, 1959; *Bulletin de l'Institut indochinois pour l'Étude de l'Homme*, Hanoï; Publications de l'Institut Pasteur; *Revue Bach-Khoa*, Saïgon (à partir de 1956).

اشراق العلم الحديث في الشرق الاقصى

التقدم الجديد في العلم الحديث في الصين (1911-1949) - من الثورة الجمهورية التي حدثت سنة 1911 إلى التحرر الذي وقع سنة 1949 ، حقق العلم الحديث في الصين انجازات جديدة رغم الظروف الاقتصادية والسياسية غير المواتية تماماً . فالتعليم التقليدي المرتكز على الكلاسيكيات الكونفوشية ، وعلى الأدب ، والفلسفة وعلم اللغات القديمة ، توارى الآن امام تعليم حديث اوسع مكاناً واسعاً للعلوم منذ المدرسة الابتدائية وحتى الجامعات ، وتنتشر المجلات الكبرى المعنية بالثقافة العامة مثل تونغ فانغ - تما - تشي (مجلة الشرق) عادة مقالات تخصصية بالفيزياء والكيمياء وعلم الفلك . وفي المدن الكبرى ، وخاصة في بكين وشنغهاي ، تجتذب محاضرات تبسيط العلوم الشباب المتحمسين . و « حركة 4 أيار » التي عبرت ، سنة 1919 وعلى الصعيد السياسي ، عن عداتها لمعاهدة فرساي (التي حرمتهم ، ولصالح اليابان ، من القواعد التي كانت سابقاً لألمانيا في الصين) ، والتي تلحظ ، على الصعيد الادبي ، هجمة عامة للغة الشعبية المحكية ضد اللغة الفصحى « اللغة المكتوبة » ، هذه الحركة هي بذات الوقت حركة من اجل التحديث العلمي للصين ؛ فكتابات المناقشين في تلك الحقبة تبرز على المسرح « مسير دي » و « مسيو سي » ، اي الديمقراطية والعلم (المرموز اليهما في الصينية باول مقطع من اسميهما) ، هذان المستشاران اللذان سوف يخلصان الصين من سباتها الالفي . هذه النزعة نحو العلم التي اجتذبت يومئذ كل « طبقة المفكرين » العصرية الصينية ، برزت بنجاح النشرات العلمية الحديثة ، مثل نشرات دار النشر الكبرى في شنغهاي المسماة المطابع التجارية (شانغ - أوين - شو - كوان) والتي أسست في مطلع القرن وكان لها فروع في كل المدن الكبرى في الصين .

عندئذ تشكلت عدة مؤسسات كبرى للبحث العلمي . فقد بدأت المصلحة الجيولوجية في الصين التي أسست سنة 1912 ، عقب سقوط الامبراطورية ، وتولى ادارتها متخصصون ممتازون تدربوا في جامعات الغرب ومنهم تنغ ون - كيان ، ثم ونغ ون - هاو ، بوضع كشف منهجي لموارد باطن الأرض الصينية ، ثم تولت نشر خارطة جيولوجية مفصلة . ولم تكن اكااديمية العلوم (أكاديميا سينكا) ، التي تأسست سنة 1928 في بكين من قبل الحكومة الجديدة ، حكومة كو - مين - تانغ ، والتي كان رئيسها الأول المرعي الكبير تساي يوان - بي ، هيئة علمية مثل مثيلاتها في

البلدان الغربية ، بل كانت أيضاً هيئة واسعة للبحوث الجماعية ، تضم معاهد متخصصة في أهم فروع العلم الحديث . وكان أعضاء هذه الأكاديمية يقومون بمسح ووضع جداول بالنباتات وبالحيوانات الصينية ، ويضعون بقايا « هوموكينيسيس » ، ويعالجون مشاكل تخصيب التربة وينشرون المذكرات حول الرياضيات ، ويدرسون الظواهر الفلكية ، مثل كسوف الشمس الذي حصل في 21 كانون الأول سنة 1941 . وفي بكين تأسست سنة 1928 هيئة أخرى للبحوث العلمية ، هي الأكاديمية الوطنية في بكين ، التي اهتمت أيضاً وبأن واحد بالعلوم الفيزيائية والطبيعية والعلوم الانسانية ، وكانت مواردها المالية تأتي من « التعويضات » الفرنسية القديمة للبوكرس (وهي تعويضات تركتها فرنسا لصالح الصين شرط ان تحتفظ بالرقابة عليها) .

ولكن هذه النهضة النسبية للعلم الحديث كانت ما تزال محدودة بفعل الحالة العامة التي تعيشها البلاد . فسقوط ملكية العهد القديمة سنة 1911 ، لم يؤد إلى تجديد حقيقي للدولة وللمجتمع الصيني . فالأسباب التي كانت تعترض في أيام الامبراطورية نهضة العلم الحديث وانتشاره الواسع ، ما زالت قائمة . والجمود العام في الاقتصاد الصيني حرم البحث العلمي من الحافز القوي الذي تقتضيه متطلبات التقدم الزراعي والصناعي . فقد كانت كل منطقة تعيش منكفئة على نفسها ، والجماعات الصينية الداخلية الضخمة ، وكذلك جماهير الفلاحين ، تتبع التطور الذي اصاب بعض المناطق المميزة مثل كانتون وشنغهاي والذي اصاب ايضاً بعض طبقات المجتمع الأكثر تقدماً مثل المفكرين (الانثيوجنسيا) أو مثل البرجوازية المدنية . ان اشعاع العلم الحديث بقي محصوراً ضمن حدود ضيقة ، من الناحية الجغرافية ومن الناحية الاجتماعية ، وهكذا كان نصف الأطباء الصينيين من ذوي التأهيل الغربي - عشية الحرب العالمية الثانية - متمركزين في منطقة شنغهاي وكانون وحدها ، وان عدداً ضئيلاً من بينهم كان يقيم خارج المدن الكبرى . فضلاً عن ذلك كان ضعف الحكومة المركزية السياسي والمالي يمنعها من القيام بسياسة انمائية علمية حقيقية . وانه لاذ دالة ان تكون فروع العلم التي لا تتطلب تجهيزات ضخمة ، هي الأكثر ازدهاراً مثل الجيولوجيا وعلم التربة الزراعية ، وعلم النبات وعلم الحيوان ، وكلها وصفية ، وكذلك الرياضيات .

وأخيراً يجب ذكر عدم الاستقرار السياسي وعدم الأمن العسكري : فقد كانت الحروب الاهلية ، والحروب الخارجية تتعاقب تقريباً بصورة دائمة في الصين منذ سقوط الامبراطورية حتى مجيء النظام الشيوعي . وأدى الاحتلال الياباني بشكل خاص إلى اجبار الجامعات والمؤسسات العلمية على الانكفاء ابتداءً من شنغهاي ونانكين وبكين ، عدة آلاف من الكيلومترات باتجاه الحدود البعيدة في الجنوب الغربي حيث احتفظ « كو - مين - نانغ » بقواعده . وأدى الاحتلال الياباني للصين إلى خسائر في المخطوطات والكتب والمستندات والمعدات العلمية ، وإلى توقف البحوث التي بدى بها .

لا شك ، في هذه الظروف الصعبة ، ان نشاط العلماء الصينيين قد بقي واستمر بشجاعة كما تدل على ذلك لائحة تتضمن 139 دراسة نقلت خلال الحرب إلى مجلات علمية انكليزية عن طريق « مكتب التعاون العلمي الصيني البريطاني » ، وكان المحرك الدائب هوج . نيهام

(1) Needham . وعلى هذه اللوائح ذكورت دراسات حول الحقول الكهرومغناطيسية وحول الغدة الدرقية ، وحول قاعدة هاردي - ليتلرود . ولكن في الاجمال ، كانت هذه المراكز العلمية المنكفة في جبال الجنوب الغربي لا تطمح إلى أكثر من الاستمرار في البقاء . فكل حياة علمية قد توقفت في مدن الشمال الكبرى والشرق المحتلين من قبل اليابانيين . وكانت الحرب العالمية الثانية بالنسبة إلى العلم الحديث في الصين حقبة جمود نسبي ، في حين كانت بلاد المحور والولايات المتحدة وبريطانيا تحقق تقدماً هائلاً نظرياً وعملياً .

الحياة العلمية في الصين الشعبية منذ 1949 - منذ إعادة تنظيم اكااديمية العلوم (اكاديميا سينيكا) سنة 1955 ، أصبح البحث العلمي متمركزاً بقوة ضمن مختلف المعاهد التابعة للأكاديمية ؛ وفي أواخر الخطة الخمسية الأولى ، سنة 1957 ، كانت هذه المعاهد تعد 51 معهداً ، يعمل فيها 5000 باحث مميّز . وفي سنة 1958 احصي 848 منشأة للبحث العلمي ، منها 170 للعلوم الاساس ، و 415 للتطبيقات الصناعية ، 134 للبحوث التطبيقية في الشريعة الزراعية وللغاية بالغابات ، ولتربية الماشية وصيد الاسماك ، و 101 للطب والصيدلة والصحة ؛ وكان مجموع هذه المؤسسات يشغل 32500 باحث موصوف ، منهم 6000 يعملون في البحث الاساس . صحيح ان هذه الارقام التي تعود إلى سنة 1958 ، تغطي ليس فقط معاهد اكااديمية العلوم ، بل تغطي أيضاً الباحثين التابعين لمختلف الوزارات أو السلطات المحلية ، مما يوحي أنّ جهد المركزية المبذول سنة 1955 لم يؤت تماماً ثماره .

هذا البحث العلمي كان بحثاً مخططاً . وهكذا فيما خص الحقبة بين 1955 و 1957 ، ركزت اكااديمية العلوم نشاطها على احد عشرة موضوعاً كبيراً منها : الاستخدام السلمي للطاقة الذرية ، مشاكل التعدين ، البحوث حول البترول وجيولوجيته ، وكذلك على المحروقات التركيبية ، وعلى علم الزلازل ، والبنيات التي تقاوم الهزات الأرضية ، ثم التجهيز . والإفادة من وديان الانهار الكبرى ، ثم احصاء الموارد المدارية ، وتحديد المناطق الطبيعية في الصين ، ثم المضادات الحيوية والمركبات الكيميائية المكثفة العالية .

ولكن هذا التركيز في النشاطات العلمية اقترن بلا مركزية واسعة . فالعلم الحديث يهرب بنفسه من بعض المناطق المميّزة حيث اقتصر تمرّكه وتحدّد ، ليتشر في مجمل البلد .

تلك هي حال الاستكشاف المنجمي والدراسات الجيولوجية ، الملاحقة بنشاط في سهب الشمال الغربي وفي سلاسل جبال « التيب » ؛ ونصبت شبكة كاملة من المحطات الانشائية ومحطات الرصد المائية عبر كل البلاد . ووضعت دراسات متخصصة حول أنهار الجليد في تيان - شان ، على الحدود السوفياتية الشمالية الغربية ؛ وعقد اتفاق بين اكااديمية العلوم في موسكو و اكااديمية العلوم في بكين ، من اجل دراسة معمقة لحوض نهر الأمور .

(1) تأسس هذا المكتب بمبادرة من البرتش كانسل وهي هيئة ثقافية بريطانية كبيرة ، ومن الوزارة البريطانية للإنتاج . وكان دوره يقتصر على تأمين مساعدة مادية وتقنية ، للعلماء وللأجهزة العلمية الصينية في الصين الحرة . راجع ج ود . نيهام ، « Science outpost » (العلم في الخارج) لندن 1948 .

وتوسعت منطقة نشاط العلم الحديث وكذلك المنطقة التي تسيطر عليها فعلاً الحكومة المركزية وتديرها .

ويوجد علاقة أكيدة بين متطلبات التخطيط الاقتصادي وتوجه البحث العلمي . أما اختيار علم الزلازل « كموضوع كبير » فإنه يتجاوب مع احتياجات التوسع الصناعي في مناطق ما تزال غير معروفة تماماً لهذه الجهة . ومعظم المواضيع الأخرى ذات فائدة مباشرة وأكيدة من أجل السياسة التنموية الاقتصادية ، الملاحقة منذ اطلاق أول خطة خمسية سنة 1952 . ولكن تفحص التقارير المقدمة إلى أكاديمية العلوم ، ونشر « اكتاسياتيا سينيكا » ، الذي حرر باللغة الانكليزية وخصص بصورة اساسية لجماهير الخارج ، يدل على ان البحث الاساسي لم يكن مهماً هو ايضاً ، مثلاً في الرياضيات وفي الفيزياء . ومن بين الوجوه الكبرى في البحث الاساسي ، يمكن ذكر الرياضي هوا لو-كينغ ، والفيزيائي تسين هيو-سن ، والبيولوجيين والطبيين تشونغ وي-لان وتشانغ هياو-نسين . وقام تعاون وثيق بين هذا الجيل ، ورجال امثال الجيولوجيين لي سو-كوانغ وونغ ون-هاو ، والعالم بالانواء تشوكو-تشين ، الذين انضموا إلى النظام الشعبي بعد ان ابرزوا العلم الحديث الصيني في ظل النظام السابق .

ان الحياة العلمية الصينية قد اتسعت ايضاً باتساع اشعاعها الاجتماعي . فقد تألف مع الكتب والافلام والمحاضرات والمعارف ملايين العمال الذين اقتصر افقهم الثقافي حتى ذلك الحين على القواعد الخرافية في الضرب بالرمل وكشف الغيب (قواعد الهواء والماء « فينغ-شوي ») ، لقد تألفوا جميعاً مع المفاهيم العقلانية الحديثة المتعلقة بالعالم المادي والكائنات الحية . ان الاحصاءات المذكورة في المنشورات العلمية الصينية منذ سنة 1949 مفيدة بهذا الشأن ، رغم ان مؤلفيها اهتموا بالتمييز بين المؤلفات الاساسية ومؤلفات التبسيط (صورة رقم 34) .

ومنذ وصول اليسوعيين إلى الصين في أواخر القرن السادس عشر ، ترسخ العلم الحديث في هذا البلد بتفاعلية خارجية تماماً ، بواسطة العلماء الغربيين والعلماء الصينيين المتدربين في مؤسساتهم . هذا العلم ذو المنشأ الغربي تجاهل تماماً العلم الصيني التقليدي ، كما تجاهلت البورجوازية الحديثة وطبقة أهل الفكر الجديدة في المدن ظروف الحياة ومشاكل الشعب الريفي .

ان إحدى اصالات الحياة العلمية في الصين الشعبية هي محاولتها - في الحالات التي تكون فيها التجربة تستحق العناء - اجراء تأليف تركيبي بين المعرفة التقليدية والعلم الحديث .

والمثل الاكثر بروزاً هو هنا من الطب . في ظل النظام السابق ، كان الطب التقليدي ممنوعاً بصورة رسمية ومعزواً للملاحقة ، في سنة 1949 كان يوجد ، رغم كل شيء ، اكثر من 350 000 طبيب تقليدي في العمل ، مقابل 20 000 طبيب عصري . ومن أجل الاستفادة ، بأن واحد ، من هذا الرأس مال البشري ومن العناصر الصالحة التي يمكن ان تحتويها التقنيات الصينية القديمة (المعالجة بوخز الابرة والكي ، الخ) ، تم فتح معاهد للطب التقليدي ذات صفة رسمية ، في مختلف المدن ؛ وفيها يُعلم ، بأن واحد ، الطب القديم وبعض العناصر الضرورية من الطب

عدد المؤلفات المنشورة	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958
علوم طبيعية (بوجه عام)			12	7	1	9	22	17	19	109
الرياضيات	5	7	35	33	84	80	108	109	146	157
الفلك	1		13	10	20	12	26	35	36	36
الفيزياء	6	9	14	26	38	46	80	79	110	159
الكيمياء	3	8	13	26	36	53	56	68	91	112
الجيولوجيا		4	8	18	53	135	93	155	203	286
البيولوجيا	7	9	8	11	19	24	46	42	49	65
علم النبات	1	5	5	7	25	33	59	42	63	92
علم الحيوان		2	5	4	11	24	24	17	35	39
الجغرافيا	2	10	22	24	108	100	173	230	229	181
الطب	5	30	135	178	204	300	389	552	634	930
تربية النبات والحيوان	6	90	176	179	273	410	462	1 277	994	2 375

صورة 34 - احصاءات الثمرات العلمية الصينية (1958-1949) .

الحديث . وهذه المحاضرات ، مفتوحة أيضاً أمام الأطباء التقليديين العاملين . وبذات الوقت جرى احصاء الصيدلية الغنية جداً ، وبجري فحص قيمة التقنيات القديمة (فحص النبض ، والوخز ، الخ) في ضوء النظريات الحديثة حول النشاط العصبي ، وخاصة نظريات بافلوف .

لم يقطع العلم الصيني الحاضر صلته بماضيه . وهناك أكثر من رمز في كون مصالحي مكتب الانواء (متيورولوجيا) في بكين ، ما تزال قائمة في حي متواضع من المدينة القديمة ، قرب باب التضامن الوطني (كيان - كويو - مان) ، عند النقطة القريبة من سور بكين ، حيث كان الفلكيون المسلمون منذ القرن الثالث عشر ، التابعون لملوك المغول يمارسون علم فلك كغياً موضعياً كان هو الأكثر تفلحاً في زمنهم ، وحيث عمل في القرنين 17-18 ماتيوريشي M. Ricci وخلفاؤه .

ولكن العلم الصيني اتجه بذات الوقت إلى الاندماج في الحياة العلمية الحديثة . فشارك العلماء الصينيون في العديد من المؤتمرات العلمية الدولية . ورغم ان الظروف السياسية العالمية لم تنح للصين ان تشارك مباشرة في السنة الجيوفيزيائية الدولية ، فان نشاطاً ضخماً قد بذل في البلد بهذه المناسبة ، فافتتح مخطط كبير لقبة السماء (بلانيتاريوم) في بكين ، واقامت ثلاث وتسعون محطة موزعة عبر البلد كله حتى هضبة التبت لرصد النشاط الشمسي ، والمغناطيسية الارضية ، والأقمار الصناعية ، الخ .

ان الكتابة الافكارية الصينية ليست ، مع ذلك ، عامل تيسير في تلاحم العلاقات العلمية بين الصين والبلدان الاجنبية . وهي لا تسهل لا استخدام الاجنبي للأعمال الأصلية الصينية ، ولا تفحص اعمال الغربيين من قبل المتخصصين الصينيين . ان الاتجاه في الصين ، يميل إلى تلخيص مجلاتهم العلمية ونقلها إلى الانكليزية أو الروسية ، بل وحتى نشر بعض المجلات بالانكليزية مثل « سيانتيا سينكا » أو « تشاينا مديكال جورنال » . واعتماد الكتابة ، بصورة ثانوية ، بالاحرف اللاتينية ، وفقاً لاسلوب التسجيل الصوتي المسمى « پين ين » هو خطوة إضافية في هذا الاتجاه . لا شك ان الفكرة لم تخطر بعد في استعمال هذه الكتابة الأبجدية لتحل محل الحروف

الافكارية التقليدية ، بل فقط لاستخدامها في مكافحة الامية ، وفي عدد من الاستخدامات التقنية ، كالاتصالات اللاسلكية ؛ ومن مكاسب هذا المشروع ، أشارت التعليقات الرسمية المنشورة سنة 1958 ، إلى امكانية الصينيين نقل العبارات العلمية والتقنية مباشرة كما هي : بدلاً من محاولة خلق (صنع) « رموز فكرية » جديدة أو تركيبات ايديوغرافية جديدة .

العلم الياباني في القرن العشرين - ان التطور الذي انطلق عقب ثورة الميحي ، وبخلال العقود الاخيرة من القرن التاسع عشر قد استمر بدون عقبات في القرن العشرين ، ومن دون الصعوبات التي اعترضت ، في نفس الحقبة ، في الصين ، انتشار العلم الحديث ؛ وبالمكان هنا ان نكون اكثر ايجازاً .

منذ مطلع القرن العشرين ، بدت المشاركة اليابانية في الحياة العلمية الدولية ناشطة جداً ، كما تدل على ذلك « قضية كيمورا » الشهيرة .

كان هيساشي كيمورا Kimura فلكياً يابانياً مكلفاً بالقيام ، في بلاده ، بأرصاد حول تغيرات المحور الارضي ، في اطار الاعمال المقامة بآن واحد على المستوى الدولي . وكانت النتائج التي حصل عليها تختلف قليلاً عن الصيغة البسيطة التي قررها زملاؤه في الغرب ، واكتفى الكثيرون بتفسير هذا الفرق عن طريق « التقنية المتدنية » التي كانت يومئذ متاحة للمراصد اليابانية . ولكن كيمورا عاود حساباته وتوصل إلى اثبات وجود « Z » يؤكد ارضاده وبغير الصيغة التي ارتضاها الفلكيون الغربيون ؛ واستطاع هؤلاء بعد التفحص ، التثبت من حقيقة هذا التعبير التجريبي الذي فاتهم .

هذه الطرفة ، التي اعطيت يومئذ دعابة واسعة في كل الصحافة اليابانية من اجل بواعث اكيدة تتعلق بالاعتبار الوطني ، تدل على بلوغ العلم الياباني سن الرشد الكامل .

فيما بين الحربين العالميتين ، شارك العلماء اليابانيون مشاركة تزايد نشاطها في معظم المؤتمرات العلمية الكبرى الدولية ، وخاصة في مؤتمرات الجمعية العلمية لليان باسيفيك ، التي ضمت علماء من كل البلدان المحاذية للباسيفيك ؛ وجرّ المؤتمر الذي عقد سنة 1926 ، في طوكيو ، إلى اليابان ، ولأول مرة ، اجتماع رجال العلم الاجانب . ومن جهة أخرى ، كانت الحرب العالمية الثانية ، بالنسبة إلى العلم الياباني ، حقبة انكفاء ، لا حقبة جمود . وكما في المانيا ، ولأسباب مماثلة ، حققت فروع العلم التي يمكن ان تخدم مباشرة العمليات العسكرية واقتصاد الحرب ، خطوات تقدم مهمة ، مثل « الابصار » (من اجل الحرب الجوية - البحرية) ، وكيمياء تركيب المحروقات ، ألياف النسيج ، والكاولتشوك ، والمواد الغذائية .

ان المبادلات العلمية بين اليابان والبلدان الاجنبية عادت إلى طبيعتها بدون مضايقات منذ سنة 1945 وكثيراً ما تعقد مؤتمرات دولية في اليابان بالذات ، كما كان الحال ، حديثاً بالنسبة إلى المؤتمر الدولي للفيزياء (كيوتو- 1953) ، أو المؤتمر الدولي لعلوم العين والبصر (جينفو ، 1957) . وكافأت اعلى الالوسمة الدولية ايضاً اعمال الفيزياء النووية التي قام بها البرفسور هـ . يوكاوا Yukawa ، الحائز على جائزة نوبل لسنة 1949 ، ومدير أول محطة ذرية يابانية في

توكايمولا ، أو البحوث الرياضية التي قام بها ك . كوديرا Kodaira ، حامل مدالية فيلد لسنة 1954 . وكون هيروشيما وناغازاكي قد نالتا سنة 1945 الامتياز الكتيب بان استخدمتا كموضع تجربة للأسلحة التدميرية الضخمة ، يفسر ، فضلاً عن ذلك ، النهضة الحديثة لأعمال البيولوجيا والطب المتعلقة بتأثير الإشعاعات الذرية على الجسم البشري .

والعلماء اليابانيون ، كزملاتهم الصينيين ، عانوا في مجال المبادلات العلمية الدولية من حواجز اللغة والكتابة . وقد تغلبوا هم عليها ، وذلك بنشر مجلات باللغات الغربية ، مثلاً في مجالات الفيزياء والكيمياء ، أو بإضافة خلاصات تحليلية بالانكليزية لمشوراتهم .

ان المشاركة اليابانية بالسنة الجيوفيزيائية الدولية التي تميزت بإرسال بعثة إلى القطب الجنوبي ، وقياس النشاط الإشعاعي في الفضاء العالي ، وبالعديد من الأرصاد الأخرى ، تقدم هنا المناسبة لوضع نقطة نهائية لدراسة العلم الياباني ، الذي اعتبر كتيار مستقل في الفكر العلمي العالمي . ان احفاد الرياضيين الكبار اليابانيين الماضيين امثال سكي كوا Kowa ، والفلكيين الكبار من حقبة طوكوغاوا Tokugawa ، مثل ناكان جينكي Genkei ، قد دخلوا الآن ، وبشكل كامل وناشط في حلبة العلم الكوني الشامل ، ولم يعد أي شيء يسمح بعزلهم عنه

مراجع الفصل الثامن

J. NEEDHAM, *Chinese science*, Londres, 1945; J. NEEDHAM et D. NEEDHAM, *Science outpost, Papers of the sino-british science cooperation bureau, 1942-1946*, Londres, 1948; *Academia sinica*, 1928-1928, s.l.n.d.; *List of publications of the national Academy of Peking*, Pékin, 1948; *Kouo-li ichong-yong yen-kieou-yuan kai-kouang* («État général de l'activité de l'Académie nationale centrale»), Pékin, 1948 (avec index des publications des principaux collaborateurs); *Scientia sinica*, Pékin, depuis 1949; *Chinese medical journal*, Pékin.

S. H. Gould, ed., *Sciences in Communist China*, Washington, 1961; L. A. ORLEANS, *Professional manpower and education in Communist China*, Washington, 1961; C. NUNN, *Chinese publishing statistics, 1949-1959*, Ann Arbor, 1960.

المنظمات العلمية الدولية

ليست الحياة العلمية الدولية اختراع القرن العشرين . فمنذ العصور القديمة كان العلم يدور عن طريق تبادل الرسائل والبرقيات ، وكان ينتقل من الفم إلى الأذن (سماعاً) أثناء الزيارات والرحلات التي يقوم بها العلماء والموسوعيون . وبعدها ، وخاصة بخلال القرن الماضي ، جاءت النشرات العلمية ، التي تصدر بصورة دورية نوعاً ما ، تقدم وسيلة أقل شخصية إنما أكثر فعالية لنقل الافكار عبر الحدود . الكثير من هذه النشرات كان يستند ، وما يزال ايضاً ، على تجمعات من العلماء على الصعيد المحلي أو الوطني ، مجتمعات عالمية ، اتحادات ، اكاديميات . البعض من هذه التجمعات ، عن طريق قبول اعضاء اجانب ، اطلق في الماضي ، الحركة التي سوف تؤدي إلى الاتحادات الدولية .

وإذا كانت الاتصالات فيما بين العلماء ، من مختلف البلدان ، ضرورية بالتأكيد ، ودائماً ، فإن تنظيم الاعمال المشتركة ، التي تشغل المختبرات أو المدارس الواقعة في اجزاء مختلفة من العالم ، ضمن مشاريع علمية جماعية ، لم يبدأ حقاً إلا في مطلع القرن الأخير عندما تقرر وضع خارطة عامة للسماء ، من قبل عدد من المراصد . وانه لحد دلالة نوعاً ما ان يكون علم الفلك - الذي يحمل القاب الشرف الاكثر قدماً بين المجالات العلمية - العلم الاول الذي يطرح نفسه بعزم على الصعيد العالمي ، وان يبقى دائماً كذلك بعدها ، مع الجيوفيزياء [الفيزياء الارضية] ، على رأس الحركة الدولية . وظهرت اتحادات دولية متنوعة بخلال القرن التاسع عشر ، وشملت علوماً اخرى ، مع برامج مرتكزة اساساً على تنظيم المؤتمرات ، وايضاً على مهمات توحيدية تتناول الوحدات ، فالرموز ، والتسميات ، وطرق القياس . واصبح من الضروري ، بالفعل ، ان يقوم تفاهم دولي في هذه المجالات اذا اريدت متابعة التفاهم المتبادل وازيدت القدرة على الافادة من اعمال الغير . واخذت المنظمات التي انشئت يومئذ ، اسم الاتحادات الدولية ، ووسعت كل منها صلاحياتها لتشمل احد المجالات العلمية الكبرى . وعمد بعضها إلى رعاية نشر الدوريات المتخصصة . ولم يكن لهذه الاتحادات عموماً ، لا العزم ولا الوسائل إلى تحقيق البحوث بذاتها : انها اساساً اجهزة اتصال .

ولادة ونشاط المجلس الدولي للاتحادات العلمية - كانت اول محاولة للتنسيق بين نشاطات

هذه الأجهزة المختلفة ، التي ظهرت بناء لمبادرة شخصيات أو جمعيات عالمية متنوعة جداً ، قد جرت في مطلع القرن العشرين من نسل منظمة دولية ضمت عدداً لا بأس به من الاكاديميات الموزعة في مختلف الدول . ولكن شغل هذه المنظمات قلماً استعد لتحقيق مثل هذا التنسيق ، بسبب الملاكات [والانظمة] المتنوعة جداً للاكاديميات وحتى بسبب عددها المتغير داخل مختلف الدول التي تزعم انها تمثلها .

وبعد الحرب العالمية الاولى ، بذل جهد جديد ادى إلى انشاء المجلس الدولي للبحوث العلمية ، مع برنامج طموح إلى حد ما . وكان المطلوب التنسيق فيما بين النشاطات الدولية في المجالات العلمية الممثلة بالمنظمات أو الاتحادات القائمة ، ثم التصميم على انشاء اتحادات جديدة تغطي المجالات الاخرى غير الممثلة حتى ذلك الحين . فضلاً عن ذلك ، ولأول مرة ، بحثت مسألة التأثير على الحكومات في البلدان الاعضاء في المجلس ، للحصول على دفع جديد في بحوث ما تزال متطورة بشكل غير كافٍ . واضطر مجلس البحوث العلمية الذي ربما كان تشكيله مركزياً جداً ، إلى الخضوع لتغيير عميق ، وإلى اتخاذ عنوان « المجلس الدولي للاتحادات العلمية » (I. C. S. U) ، سنة 1931 ، مما يدل بالتالي على رغبة الاتحادات المنتسبة في الاحتفاظ باستقلال كبير في عملها . في الوقت الحاضر يضم المجلس ثمانية اتحادات تسمى عامة ، يغطي نشاطها مجالات كاملة من العلم كالفلك والفيزياء والكيمياء والرياضيات والجيوديزيا والجيوفيزياء ، وعلم الفلك ، والعلوم البيولوجية ، والعلوم الجيولوجية ، كما يضم ستة اتحادات اخرى ، تسمى متخصصة - كاتحاد الكريستالوغرافيا مثلاً - مع المؤسسات الممثلة للدول المنتسبة .

وقد يبدو الاجتماع في الجمعيات المؤلفة من نمطي المندوبين - أولئك الذين يمثلون البلدان الاعضاء ، أو بصورة أولى المنظمات العلمية المناسبة ، داخل البلدان المنتسبة (اكاديميات ، مجالس بحوث ، الخ) ، وأولئك الذين يمثلون الاتحادات الاعضاء - قليل الانسجام ، ولكنه يقدم في مجموعه نتائج جيدة . وعلى كل حال ، لقد توسع نشاط الاتحادات ، بشكل ضخم بخلاف نصف القرن الماضي ، في قسم كبير منه ، بفضل معونات كبيرة جداً ، منحها منظمة الاونيسكو ، منذ تأسيسها . ان المؤتمرات والندوات التي نظمتها الاتحادات كثيرة جداً ، واللجان نشيطة جداً ، ولكن ، زيادة على عمل الاتحادات ، نظم المجلس بداته لجاناً مشتركة وهيئات خاصة تعالج مشاكل خاصة تهم عدة اتحادات وهكذا ولدت اللجان الخاصة بعلم المحيطات (اوقيانوغرافيا) (SCOR) ، وبالبحوث القطبية الجنوبية (SCAR) ، وبالبحوث الفضائية (COSPAR) ، واللجنة الخاصة بالسنة الجيوفيزيائية الدولية (CSAGI) اثناء فترة الاعمال المماثلة .

وهناك منبثقات اخرى عن المجلس ، مثل « اتحاد مصالحي علم الفلك وعلم الجيوفيزياء » ظهرت شديدة الفعالية من اجل تسهيل تركيز الجهود الوطنية والدولية .

والمثل الذي قدمه مجلس الاتحادات سرعان ما اتبع ، تحت رعاية الوكالات المتخصصة التابعة للأمم المتحدة وخاصة الاونيسكو ، بانشاء تجمعات اخرى دولية كبرى غير حكومية . من ذلك المجلس الدولي لمنظمات العلم الطبي (CIOMS) الذي ضم عدة عشرات من الجمعيات الدولية في هذا المجال . وقام بنفس الشيء اتحاد الجمعيات التقنية الدولية (UATI) في حقل

علوم المهندسين . وأخيراً الاتحاد من أجل المحافظة على الموارد الطبيعية الذي يضم منظمات الحماية الطبيعية ، تحاول منذ زمن بعيد منع نهب وتدمير الموارد البيولوجية والمعدنية في كرتنا الأرضية .

هذه الجهود الدولية ، الموضوعية تحت شعار الاستقلال بالنسبة إلى الحكومات ، لا تستطيع ، مع ذلك ، ان تنمو الا بفضل المعونات التي تأتيها ، إلى حد ما ، مباشرة من هذه الحكومات بالذات ، سواء عن طريق الاونيسكو أو عن طريق منظمة الصحة العالمية ، أو عن طريق المنظمات المماثلة في البلدان المنتسبة ، مثل الأكاديميات . ولا تستطيع أيضاً ان تبلغ اهدافها تماماً الا اذا كان عملها قد عُرف ، وقُدِّر ودعم من قبل المجتمع الأكبر من العلماء والباحثين الذين يعملون في مجال تقدم العلوم في بلدانهم المختلفة . في هذا الاتجاه ، حسن النجاح الكبير في السنة الجيوفيزيائية الدولية ، بشكل واسع ، وضِعاً لم يكن حتى الآن وما يزال غير مُرضٍ .

الجهود فيما بين الدول - هناك نمط آخر من التنظيم ، هو الذي يدخل مباشرة الحكومات في تمويل وفي ادارة الاعمال العلمية ، وقد نهض ، بعد الحرب العالمية الثانية ، نهضة أكثر تأخراً ، انما تعتبر من عدة أوجه متمماً لجهود المنظمات العلمية غير الحكومية .

ومنذ ما يقارب أكثر من قرن ، توجد منظمات انشأتها الاتفاقات الدبلوماسية الدولية ، مثل المكتب الدولي للأوزان والمكاييل (1873) ، انما يتعلق الامر هنا بمؤسسات مخصصة لتكون نقطة التقاء لمناقشة المسائل الكبرى ، التي تتناول المعايير العلمية ، وعند الحاجة تتناول حفظ هذه المعايير ، وكذلك وضع الاتفاقات الدولية الجديدة ، كما هو الحال في الاتصالات اللاسلكية . ان مشكلة انشاء منظمات بين الحكومات مخصصة للبحث العلمي الخالص ، لم تُشرحاً الا سنة 1946 ، في الامم المتحدة ، عندما صوتت هذه المؤسسة على قرار يدعو الأمين العام للقيام باستقصاء واسع حول هذا الموضوع . ودونما رغبة في الدخول هنا في تفاصيل المصاعب التي لا تحصى والتي لقيها اولئك الذين عكفوا على هذه المشكلة ، قبل الوصول إلى نتائج محللة ، يمكن القول اليوم ان البرهان قد قُدِّم ، ليس فقط على امكانية انشاء مؤسسات بحث بين الحكومات ، بل وايضاً ، على الفعالية التي تستطيع هذه المؤسسات بلوغها تقديماً للعلم . إن غالبية المنظمات المماثلة لهذا التعريف هي اقليمية ، اي ان الدول المجتمعة فيها هي ، من الناحية الجغرافية ، متقاربة فيما بينها (المنظمة الأوروبية للبحث النووي (CERN) ، للبحوث الفضائية (ESRO) ، المعهد المتحد للبحوث النووية (دوينا) ، الخ) ، مما يقدم مكاسب اكيدة من أجل الدفاع المشترك . الا ان الشكل العالمي ليس مستبعداً ، كما يظهر ذلك حديثاً انشاء المركز الدولي للحساب في روما .

ويجب ايضاً وبالنسبة ، ذكر المختبرات ومعاهد البحوث التي انشأتها اجهزة بين الحكومات ، مهمتها الاساسية لا تؤدي بها صراحة إلى مثل هذه المشاريع ؛ تلك هي حالة « الاوراتوم L'Euratom » و « الوكالة الذرية الدولية » ، ومنظمة التعاون من أجل التنمية الاقتصادية (OCDE) . والحقيقة ، بعد هذه الانجازات الاساسية ، هي أنه من المحتمل ان يكون للبحوث العلمية مأخوذة بشكل تعاوني بين الدول أو بين مؤسسات كبرى دولية ، مستقبل ضخم .

ان الشروط الأكثر مؤاتة لمثل هذه المنشآت ، قد وضعتها ، بوضوح ، لجنة من الاونيسكو : فهي تتضمن بالدرجة الاولى اهمية الجهد المالي الضروري لبناء الاجهزة التقنية والعلمية اللازمة من اجل البحث : ومثل المسرع الكبير للجزيئات التابع لـ (CERN) المنظمة الأوروبية للبحث النووي (يوضح تماماً هذا الاعتبار . ثم السمة الكثيرة العمومية في بعض الاعمال ، الدولية من حيث طبيعتها ، والتي تقتضي جهوداً جماعية : خارقة السماء ، علم المحيطات ، البحوث الفضائية . وأخيراً السمة الملحة ، المصلحة الأكيدة بالنسبة إلى كل الدول ، يجب ان تؤدي إلى تكاتف الجهود على صعيد دولي .

وفيما يخص المكاسب المتوقعة من هذه الاعمال الجماعية ، يمكن ذكر انشاء فكرة صحبة دولية ربما يشكل العلم بالنسبة إليها الأرض الأكثر ملاءمة ، ثم ضم الأمم المتخلفة في نموها إلى الأمم التي تتمتع بتراث علمي أوسع .

يتحصل من تفحص مجمل هذه اللوحة ، التي تبقى غير مكتملة ، احساس بالغنى ، ولكن أيضاً احساس باللامساك لا يخلو من اساس واقعي . انا نحس ، من جميع الجهات ، بمخاطر الاستخدامات المزدوجة ، والمزاحمات ، والتخلي عن بعض المواضيع رغم اهميتها القصوى ، التي تنتج عن تعدد السلطات التي تحت رعايتها تتحقق الابداعات . لا شك ان قانون الانتقاء ، بفعل بقاء الأكثر اهلية ، يمكن ان يطبق على هذه الاجهزة كما على الاجهزة الحية ، ولكن هذا يؤدي إلى هدر ضخم للموارد ، كالهدر الذي رافق التطور الطبيعي للانواع الحية . ان جهداً ذكياً ومتناسقاً يكون هو الاجدر بنا .

فهرس الاعلام

- ا -

/774 /729 /727 /633 /618 /616
/959 /828 /825 /824 /821 /820
. 974 /972 /971 /970 /969 /967

. اتكنسون 609

. ايتان ماي 924

. اتيلون 727

. اجكيان 877

اجنار هرتزبرونج راسل

. 591/586/579/571/561

. احمد آباد 1002

. اد 707

. اديان 860/859

. ادكنس 682

. ادلر 342/329

. ادلين 606

. ادمس 726

/596 /191 /190 /172 /97 /ادنغتون

/629 /611 /610 /609 /606 /605

. 630

. ادوارد سون 903/887/751

. ادوار سويس 528

. اديس 865

. اديسون 282

. اباتسي 898

. ابرافي 890

. ابراهام 276

. ابرسولد 948

. ابستين 238

. ابقرط 992

. ابلتون 340/339/292

. اينادا 915

. ابن الجزري 128

. ابن رشد 992

. ابن سينا 994

. ابوبكر بن يحيى 997

. ابوت 550

. ابوسولي 776

. آبل 712/345/94/83/66/63

. الاتحاد السوفياتي 142/134/133/101

/394 /392 /348 /252 /194 /143

/457 /451 /408 /401 /399 /395

/529 /501 /498 /494 /491 /481

/614 /589 /553 /552 /547 /533

- أذربيجان 970 .
 أراغو 549 / 168 .
 أرتن 143 .
 أرتوس 873 / 852 / 680 .
 أرتيمييف 504 .
 أرتور روزنبلوت 128 / 119 .
 أرجنتين 987 / 986 / 553 .
 أرخبيل صوند 729 / 538 .
 أرغيدس 731 / 248 .
 أردوس 25 .
 أوزيلا 76 / 70 / 59 / 45 .
 أرسطو 992 .
 أرمي تومسون 811 / 136 .
 أرنلث 736 .
 أرميت دي ليل 358 .
 أرمسترونغ 741 / 288 .
 أرموير 729 .
 أرمينيا 973 / 970 .
 أرنست آبي 225 .
 أرنست بوريس شين 929 .
 أرنست روزنفورد 238 / 237 / 163 / 154 / 278 / 279 / 317 / 355 / 359 / 360 / 361 / 362 / 363 / 364 / 366 / 367 .
 387 / 394 / 424 / 426 / 506 / 535 .
 أرنست ماخ 197 / 184 / 173 / 171 .
 أرنولد 904 / 288 .
 أرنون 805 / 803 / 797 .
 أرمينيوس 433 / 432 / 429 / 427 / 310 .
 434 .
 أرومي 393 .
 أروين شروندنجر 159 / 158 / 122 / 16 .
 160 / 161 / 239 / 240 / 322 / 333 .
 410 / 411 / 413 / 427 / 428 / 513 .
 أريانس كابرس 764 .
 أريزونا 627 / 558 .
 أريستوجينز 761 .
 أريكييا 927 / 576 .
 أرينكين 857 .
 إسبانيا 966 / 697 .
 اسبورن 899 .
 استابل 642 .
 استوري 209 .
 أستراليا 633 / 548 / 547 / 540 / 394 / 634 / 634 .
 استرمان 934 / 26 .
 استروب 680 .
 استون 441 / 307 / 162 .
 استونيا 970 .
 إسرائيل 870 .
 اسطمبول 991 .
 اسفايرسون 76 .
 اسفود 143 .
 اسكلندا 828 .
 اسكلانيون 65 .
 الإسكندرية 992 .
 اسكلدنافيا 779 / 144 .
 اسكولي 533 / 76 / 59 .
 اسهان 905 .
 اسنولت بلتري 613 .
 اسوالد 134 .
 آسيا 927 / 824 / 778 / 771 / 735 .
 1006 / 1004 / 1001 .
 آسيا الشرقية 822 / 780 .
 آشي 140 / 123 .
 أشكين 342 .
 أشنورغ 348 .
 أشهائم 886 / 885 / 883 .
 أشوف 904 .
 أشير شيكولي 750 .
 أغارد 839 / 836 / 835 .

158 / 159 / 161 / 170 / 171 / 172	أغجيلر 890 .
173 / 174 / 177 / 184 / 185 / 186	آغرن 682 .
187 / 188 / 189 / 190 / 196 / 197	أغمون 62 .
198 / 206 / 211 / 236 / 243 / 248	أغوت 939 .
249 / 253 / 254 / 255 / 262 / 283	أغوستينو 372 .
284 / 310 / 318 / 320 / 321 / 323	أغيار 297 .
326 / 373 / 409 / 559 / 572 / 603	أفاناسيها 491 .
605 / 609 / 610 / 629 / 630 .	أفروسي 753/750 .
التوم 741 .	أفريقيا 300 / 485 / 539 / 541 / 733
آلر 926/612/607	927 / 735 .
الس هرديكا 780 .	أفريقيا الإستوائية 824 .
الساير 381/379	أفريقيا الجنوبية 535 / 540 / 548 / 710
الستر 360/358	767 / 775 / 778 .
الفردورنر 446/445	أفريقيا السوداء 960 .
الفرز 270/116	أفريقيا الشرقية 778 .
الفورس 66/59/57	أفريقيا الشمالية 779/778 .
ألفين 611/336/335	أفريقيا الغربية 828/824 .
الكسندر 890/864	أفريقيا الوسطى 767 / 771 / 776 / 778
الكسندر بونستراغين 144/98/33	822 / 779 .
الكسندر تود 878 .	أفكين 927 .
الكسندر سون 330 .	أفوغادرو 354/151
الكسندر فلمنغ 928/465	أفيري 753 .
الكسندروف 143/99/98/29	أقلينس 992/628 .
الكسندر يرسين 1007 .	أكوسلي 292/291 .
ألمانيا 146 / 143 / 142 / 135 / 102	أكسل تو 23 .
172 / 173 / 225 / 286 / 296 / 298	أكليس 39/297 .
359 / 366 / 374 / 427 / 432 / 437	إكمان 736/98 .
453 / 455 / 459 / 460 / 466 / 467	إكوادور 987 .
469 / 498 / 531 / 532 / 633 / 699	آل براغ 16 .
727 / 729 / 743 / 765 / 767 / 771	آل سنو 812 .
772 / 777 / 816 / 828 / 885 / 862	آل كوري 649 .
873 / 947 / 950 / 953 / 962 / 963	آل واصون 822 .
977 / 980 / 981 / 999 / 1009	الاسكا 780 .
1014 .	
آلن 67 .	ألبرت أنشتاين 151 / 153 / 154 / 156

- آلن 885/865/741/724 .
 آلي 741 .
 الياس 914 .
 اليانا 55 .
 أليس 370 .
 أليهورطوسون 347 .
 امانويل كانت 623 .
 آمبارد 894/865 .
 آميدن 794 .
 أميرصوميان 605 .
 أمير 75/149/151/256/258/259/261 .
 أمستردام 396 .
 الأمم المتحدة 1017/757 .
 أمونس 522 .
 أميرسون 746 .
 أميركا 457/452/300/292/262/460/735/734/733/705/528/754/836/832/825/779/766/896 .
 أميركا الجنوبية 780/779/540/485/809/977/927/824/822/821/981/985/987/988/540/556/594/632/735/765/767/768/773/774/777/779/780/822/823/827 .
 أميركا اللاتينية 986/985/967/960/988/987 .
 أميركا الوسطى 824 .
 اميل بورل 51/44/43/29/28/27/57/58/59/61/67/106/117 .
 اميل بيكارد 78/77/71/57/56/40/79/93/94 .
 اميل فيشر 807/646/645/462/460/841 .
 اميل كارتان 183 .
 اناستاسياديس 57 .
 آنا فرويد 912 .
 أنتونين مورتون 933 .
 أنجلهاردت 685 .
 أنجليه 733 .
 أندراد 217 .
 أندريه 346 .
 أندروز [أندرس] 915/908 .
 أندروماخ 877 .
 أندرسون 873/879/414/413/404/397 .
 أندروس 726 .
 أندروف 71 .
 أندره بلوندل 348/301/291/278 .
 أندليشر 836/829 .
 أندوفر 300 .
 أندونيسيا 960/778/541 .
 أنريك 713 .
 أفريكس 142/94/93/92/67 .
 أنريكو فرمي 321/320/253/243/336/335/371/372/373/374/378/388/398/417/418/965/981 .
 أنسل 886 .
 انطون بلوتليمي 993 .
 أنطونيو دي ايفاس مونيز 953 .
 أنغارا 941 .
 أنفثروم 574 .
 أنغلوتا 63 .
 أنغولا 842/778/767 .
 إنفريكت 921 .
 أنفلد 196 .

انكلترا 101 / 142 / 172 / 225 / 287	أورت 612 .
291 / 300 / 358 / 359 / 366 / 370	أورغان 365 .
427 / 432 / 433 / 437 / 465 / 498	أورن 890 .
632 / 633 / 635 / 589 / 707 / 727	أورنشتين 501 .
729 / 743 / 758 / 765 / 767 / 769	أورولوار 777 .
772 / 777 / 778 / 785 / 816 / 878	أوري 370 .
896 / 906 / 932 / 946 / 947 / 950	أوريسوهرن 143/29 .
951 / 952 / 962 / 963 / 983 / 998	أوز باكستان .
الكلبي 314 .	أوزغود 67 .
أنهاجن 652 .	أوسان 776 .
أنهوفن 466 .	أوسبورن 876/761/759 .
أنيس أوبر 810 .	أوستن 283 .
أهرندورف 777 .	أوستولت [أوستولت]
أهرنس 514 .	701/503/433/227 .
أهرنفست 261 .	أوسيلي 404 .
أهرنغلت 275 .	أوشو 646 .
أهل 743 .	أوشيايفي 397/369/368 .
أونهمير 388/369/331 .	أوغست بيكاردا 58 / 60 / 63 / 64 / 65
أوبري 954/911 .	67 / 71 / 730 / 731 .
أوتو 873 .	أوغست كونت 14 .
أوتو هونيشميت 424 .	أوفاروف 741/740 .
أوتو وريوغ 791/790 .	أوفرتون 645 .
أودهنر 709 .	أوكا 98/67/36 .
أوراسيا 776 .	أوكادا 724/717 .
أورباخ 752 .	أوكرانيا 973/970 .
أوروبا 101 / 262 / 374 / 524 / 540	أوكرانيا 267 .
556 / 723 / 727 / 733 / 735 / 738	أوكسفورد 929/727 .
764 / 779 / 836 / 878 / 927 / 965	أوكسفيلد 332 .
977 / 980 / 988 / 990 / 991 / 992	أولر 559/167/114/84/36/26/25 .
999 .	أولسون 762 .
أوروبا الشمالية 487 .	أولغ بك 992 .
أوروبا الغربية 487 / 633 / 772 / 774	أولفو 541 .
781 / 959 / 961 / 967 .	أولم 171 .
أوروبا الوسطى 991/966/824/102 .	أولو جنيرد روزا 894/761 .
	أوليتسكي 869 .

- أوليفانت 393 .
 أوليفر لودج 888/881/631 .
 أوميردان 954 .
 أوناريو 814 .
 أونس 259 .
 أونسانجير 311/247 .
 أونيسيزو 102 .
 أوهكورا 756 .
 أوهلبك 427/262/238 .
 أوهلير 329 .
 أوهم 350/332 .
 أوير 874 .
 أرسى بارتون 730 .
 أوين وليام ريشارسون 765/745/282 .
 أيبيلغ 858 .
 أيجر 36 .
 أيلنغ 521/518 .
 إيرفن لانغمير 308/286/285/278 .
 309/334/341/427/428/458 .
 ايركوتسك 970 .
 ايرل انجرسون 526 .
 ايرنبرس 81 .
 ايروس 553/552 .
 ايري 484 .
 ايسرين كوري 369/368/367/366 .
 370/371/372/373/375/424 .
 ايزنهارت 67 .
 ايزوتوف 481 .
 ايسٽ 743 .
 ايسن 555 .
 ايشيكارا 919/660/25 .
 ايطاليا 750/291/142/135/67 .
 775/777/781/965/991 .
 ايفوال 825 .
 ايف 179 .
 ايفاس مونيز 917/892 .
 ايفانس 55 .
 ايفرسون 858/857 .
 ايفنس 885/882/876 .
 ايقون 337 .
 ايكلر 829 .
 ايلنبرغ 931/143/34/33 .
 ايلي دي بومونت 531/519 .
 ايلي كارتان 43/42/36/35/34/33 .
 44/51/60/61/63/64/71/72 .
 74/92/93/95/96/97/98/143 .
 199 .
 ايمرسون 876 .
 ايناتو 891 .
 اينكل 862 .
 اينهورن 856 .
 ايمرسان 98/43/36/35 .
 ايمرليخ 677 .
 ايبولد 498 .
 ايبونس 934 .
 آ. ابراغام 271/268 .
 آ. د. أدريان 700/699/697 .
 آ. أدلر 934/910 .
 آ. ك. اولانغ 138 .
 آ. أرنولد 833 .
 آ. ن. آرير 834 .
 آ. أرينغتون 561 .
 آ. ب. استود 936 .
 آ. ت. أفيري 816 .
 آ. ي. اكواي 592 .
 آ. الجيان 130 .
 آ. الشينغ 955 .
 آ. ك. الفارز 683 .
 آ. آلن 691 .

- آ. البروشا 700 .
 أ. ك. برون 786 .
 أ. برونشتين 808 .
 آ. بروير 25 .
 أ. و. بري 813 / 824 / 833 .
 أ. س. بريت 817 .
 آ. بريانت 690 .
 أ. بيفانكوس 306 .
 آ. بركيل 282 / 508 .
 آ. ف. بركولم 875 .
 آ. ف. بلاسلي 789 / 816 / 847 .
 آ. بلالوك 892 / 950 .
 آ. بلانك لايبير 16 / 353 .
 آ. بلوخ 63 / 288 .
 آ. ج. بلوم 633 .
 أ. أ. بنسون 804 .
 أ. بنك 772 .
 آ. بواشر 635 .
 أ. بوافين 914 .
 أ. بوالان 823 .
 أ. بويوف 286 .
 آ. بوتيناندت 691 / 719 .
 أ. د. بسوت 134 / 167 / 368 / 369 / 377 .
 أ. بوخنر 652 .
 أ. بوديه 842 .
 آ. بورتفان 514 .
 آ. بورزي 837 .
 آ. م. بورسل 270 / 442 .
 أ. بورنيه 835 .
 آ. بوروو 335 .
 آ. بوريل 48 / 102 / 136 / 920 .
 آ. بوشنر 650 .
 آ. بوشيرر 276 .
 آ. بوغومولتز 973 .
 آ. النكين 836 .
 أ. أنتيس 773 / 779 .
 آ. آ. أندرونوف 972 .
 أ. أنزي 651 .
 آ. انسولد 561 .
 أ. م. انطونيادي 567 .
 آ. أنفهام 25 .
 آ. أويارين 525 .
 أ. أويرفيل 828 .
 أ. غ. أوتنجر 135 / 139 .
 آ. أوردن 138 .
 آ. أوسان 518 .
 آ. إبير 24 .
 آ. ف. إيفانوف 711 .
 آ. ك. إيغي 683 .
 أ. ج. إكس 811 / 812 / 832 .
 آ. إيد 644 / 682 / 875 / 931 .
 آ. بابكوك 823 .
 أ. باراني 954 .
 أ. بارت 700 .
 آ. بارضهون 814 .
 أ. د. باري 839 .
 آ. ن. باش 790 .
 آ. باش 838 .
 آ. باك 775 / 784 .
 آ. بالاديل 973 .
 أ. باور 250 .
 أ. بيتيت 915 .
 آ. بريالي 514 .
 أ. براون 557 / 559 / 589 .
 أ. هـ. برايس 914 .
 آ. بركو 734 .
 آ. برون 740 .
 أ. أ. برناركواسر 567 .
 أ. بروس 305 .

- آ. بوك 251 .
 آ. بوكلس 437 .
 آ. بول 834 .
 آ. د. بولاك 921 .
 آ. ك. بولديرف 511 .
 آ. هـ. ر. بولر 839 .
 آ. بومقاروت 701 .
 آ. بویر 207 / 442 .
 آ. ف. بېردېهان 460 .
 آ. ج. پېرس 706 .
 آ. بېريا 759 .
 آ. پېزون 705 .
 آ. آ. بېسي 840 / 839 .
 آ. ك. بېكرينغ 589 / 588 .
 آ. بېلارد 807 .
 آ. بېلد 886 .
 آ. بېلغريم 772 .
 آ. بېنيه 910 / 911 .
 آ. ل. ناتوم 750 / 982 .
 آ. تاك 450 .
 آ. ج. ئانسلي 810 / 837 .
 آ. ف. تربست 802 .
 آ. تركويل 699 .
 آ. تزانك 940 .
 آ. تسيكوا 795 .
 آ. تسيليوس 437 / 443 / 862 / 966 .
 آ. ب. تشيشيف 62 / 101 .
 آ. تود 652 / 913 .
 آ. م. تورنغ 125 .
 آ. ل. تولان 841 .
 آ. هـ. تيورل 650 .
 آ. تېئري 494 / 535 / 665 / 671 / 687 .
 871 .
 آ. تېنيان 732 .
 آ. چارثيك 768 .
 آ. جافان 346 .
 آ. ت. جامس 444 .
 آ. جانسين 304 .
 آ. جوردان 124 / 823 .
 آ. هـ. جورې 591 .
 آ. جوفروا سانت هيلر 763 .
 آ. جولېوت كوري 414 / 424 / 963 .
 آ. جونس 904 .
 آ. جوھنس 505 .
 آ. چيارد 716 .
 آ. جيزل 911 / 915 .
 آ. ك. جيفري 809 / 831 .
 آ. دارسوا 311 .
 آ. دافي 790 .
 آ. دالك 725 / 762 .
 آ. س. دانا 514 .
 آ. دانجون 554 .
 آ. دېبېر 358 .
 آ. درود 825 .
 آ. هـ. دريك 917 .
 آ. ج. دمېستر 441 .
 آ. دنجوي 29 / 48 / 49 / 50 / 57 / 59 .
 143 / 71 .
 آ. آ. دوازي 691 .
 آ. دوبارك 524 .
 آ. ف. دويوا 682 / 765 .
 آ. ج. دورانده 842 .
 آ. ل. دوروم 862 .
 آ. ب. دوستين 816 .
 آ. دوميك 912 .
 آ. دي سانت ماريا 764 .
 آ. دي غرامونت 514 .
 آ. ي. دېكسون 698 .
 آ. دي لا باران 517 / 531 .
 آ. آ. دېمارسي 452 .

۱. ذوفیلیه 772 .
 آ. راب 552 / 573 .
 آ. راکر 794 / 804 .
 آ. ر. رامبرغ 303 .
 آ. و. راو 758 / 843 .
 آ. رایت 926 .
 آ. ردیش 344 .
 آ. ب. رندل 834 .
 آ. روئل 825 / 827 .
 آ. رودریگز 853 .
 آ. ج. روز 499 .
 آ. روسکا 305 / 306 .
 آ. س. رومر 768 .
 آ. ریتر 604 .
 آ. ریس 512 .
 آ. ریفلر 134 .
 آ. زارک 298 .
 آ. زافوسکی 442 .
 آ. زینر 592 .
 آ. سایین 917 / 918 / 928 .
 آ. سامویل 298 .
 آ. سینک 290 .
 آ. ه. ستارلنغ 687 .
 آ. ک. سناکیان 841 .
 آ. سترامبورغر 844 .
 آ. سترن 983 .
 آ. ستنسیر 767 .
 آ. ه. ستوریتفانت 743 / 982 .
 آ. ستوک 454 / 913 .
 آ. ستوکس 927 .
 آ. ستول 800 .
 آ. ک. ستونر 611 .
 آ. ک. سلاتر 79۰ .
 آ. سلبرغ 24 .
 آ. سمیت وودرد 765 / 835 / 878 .
 آ. سیکال 505 .
 آ. ن. سنغ 999 .
 آ. و. سنوت 835 .
 آ. سومرفیلد 262 / 427 .
 آ. ل. سومنر 805 .
 آ. سویتتن 302 .
 آ. میات 508 .
 آ. سیفری 965 / 981 .
 آ. سیوارد 535 / 814 / 824 .
 آ. شاپیلیه 743 .
 آ. شاتون 714 .
 آ. شازنیر 718 / 720 .
 آ. شالون 125 .
 آ. م. شتر 789 .
 آ. شرفیل 838 / 842 .
 آ. ا. و. شمپر 825 .
 آ. شمید 811 .
 آ. شوبینکوف 501 / 505 .
 آ. شوفالیه 827 / 828 .
 آ. شونبرغ 853 .
 آ. ک. شینال 462 / 808 .
 آ. ف. و. شیمر 817 .
 آ. ب. شین 465 .
 آ. طود 458 .
 آ. و. غالستون 786 .
 آ. هانیان 730 .
 آ. غرافیس 809 .
 آ. غرونبرغ 933 .
 آ. غروٹاک 700 .
 آ. آ. غریفیت 505 .
 آ. غلاغولوا ارکادیو 294 .
 آ. هلی 687 .
 آ. ه. غوردون 444 .
 آ. غورفیتش 672 .
 آ. غوستافسون 843 .

۱. غولستراند 701 / 226 .
 آ. آ. غومان 839 .
 آ. غوندرسن 835 .
 آ. غيلير موند 846 / 817 .
 آ. غينير 306 .
 آ. غينيه 448 / 449 .
 آ. غيورسو 451 .
 آ. آ. فاث 598 .
 آ. فان بندن 667 .
 آ. ج. فان بومل 460 .
 آ. ج. فان درزيل 290 .
 آ. فانديل 709 / 734 .
 آ. ي. فرانك 686 .
 آ. ك. فرانكلين 434 / 436 .
 آ. فترديك 513 .
 آ. ي. فرسمان 509 / 522 / 523 / 524 .
 532 / 525 .
 آ. و. فرنكل 82 .
 آ. فرهولز 876 .
 آ. فريدل 501 .
 آ. فريدمان 629 .
 آ. ل. فلورمان 916 .
 آ. فهماير 674 .
 آ. فوريس 127 .
 آ. س. فوستر 811 .
 آ. فولر 574 / 606 .
 آ. فون انترويوف 512 .
 آ. فون باير 804 .
 آ. فون دونجرن 678 .
 آ. فون شرماك 743 .
 آ. فون ليكنبرغ 895 / 896 .
 آ. فون هيل 906 .
 آ. فيدوروف 499 / 507 .
 آ. ي. فيرتانن 793 .
 آ. فيريه 25 .
 ۱. فيفر 917 / 926 .
 آ. فيلمنغ 839 .
 آ. ك. فينلي 930 .
 آ. ب. فينوغدوق 801 .
 آ. كاپوتنسكي 525 .
 آ. كارب 344 .
 آ. كارل 641 / 658 .
 آ. كاروذي 523 .
 آ. كاستل 743 .
 آ. كامبل 302 .
 آ. ج. كانون 570 / 588 .
 آ. كاهل 713 .
 آ. كايوه 772 .
 آ. كرافتس 807 / 815 .
 آ. كروف 684 .
 آ. كريلد 686 / 699 .
 آ. ه. كريستيان 841 .
 آ. ن. كريشتوفوفيتش 832 .
 آ. كلافيه 296 .
 آ. كلود 554 / 643 .
 آ. س. كلوفسكي 633 / 722 .
 آ. ك. كندال 462 .
 آ. ل. كور 835 .
 آ. ل. كورسانوف 807 .
 آ. كورشلت 725 .
 آ. كورناند 857 .
 آ. كورنبرغ 804 .
 آ. ج. ه. كورنر 842 .
 آ. ل. كورنيس 935 .
 آ. كوروسلوا 784 / 789 .
 آ. كوستوف 517 .
 آ. كومل 472 / 646 .
 آ. كوسمول 922 .
 آ. كوفرينو 897 .
 آ. ه. كوك 482 .

- آ. كول 314 .
 آ. هـ. كولبيرت 768 .
 آ. ن. كولوغوروف 973 .
 آ. هـ. كومبتون 981 .
 آ. آ. كومنتون 634 .
 آ. كوهلرولش 700 .
 آ. كوهلشوتز 571 .
 آ. كوهن 840 / 768 / 316 .
 آ. كوكي 949 / 947 .
 آ. كيتليت 728 .
 آ. كيت 892 .
 آ. ك. كيندال 887 / 883 .
 آ. لاورد 359 .
 آ. لاي 761 .
 آم. لافرينكو 829 / 828 .
 آ. لاکروا 518 / 519 / 520 / 523 / 533 .
 آ. لاليان [ند] 303 / 550 .
 آ. لامير 707 .
 آ. لاندو 24 .
 آ. لانغ 787 .
 آ. للينيه 810 .
 آ. س. لوتزيل 842 .
 آ. م. لوتز 816 .
 آ. لوثر 837 .
 آ. لورنس 983 / 981 / 385 / 370 .
 آ. ك. ب. لوفل 634 / 633 .
 آ. لومبارد 534 .
 آ. ل. لهنجر 796 .
 آ. لووف 844 / 758 .
 آ. ج. ت. ليدل 701 .
 آ. ل. ليفي 67 .
 آ. ليا 892 .
 آ. ليميرمان 914 / 838 .
 آ. ج. ب. مارتن 807 / 796 .
 آ. مارشان 563 .
 آ. مارشو 927 .
 آ. ماركوف 101 / 133 / 973 .
 آ. آ. ماروتي 125 .
 آ. ماش 150 .
 آ. مانهير 892 .
 آ. ماير 644 / 817 .
 آ. آ. مايلز 915 .
 آ. م. مكميلان 450 / 392 .
 آ. هـ. مور 523 / 143 .
 آ. مورجنشترن 136 .
 آ. ل. مورو 842 .
 آ. ك. موري 570 .
 آ. موزي فرميت 705 .
 آ. مونيهولد 700 .
 آ. مولر 612 .
 آ. مولز 121 .
 آ. و. موندل 563 .
 آ. مونر 797 .
 آ. مونش 807 .
 آ. ميشال ليفي 84 / 87 / 505 / 518 / 527 .
 آ. ميشلس 314 .
 آ. ميلاني 875 .
 آ. ميلرد 796 / 795 .
 آ. ميلن 839 .
 آ. نابرت 718 .
 آ. ناجل 701 .
 آ. نافراتيل 698 .
 آ. ن. نسيمانوف 973 .
 آ. نخلر 824 / 825 / 829 / 831 / 832 / 836 .
 آ. نودر 143 .
 آ. نوهورس 504 .
 آ. نيتز 907 / 908 / 909 / 926 .
 آ. نيجلاند 589 .

- آ. أ. نيدهام 724 .
 آ. نيكولايف 974 .
 آ. نيكولس 293 / 276 .
 آ. نيول 140 .
 آ. ج. هاجن سميث 785 .
 آ. ب. هارت 469 .
 آ. هاردن 652 / 651 / 650 .
 آ. هاركر 519 .
 آ. هاف 342 / 304 / 297 .
 آ. هالفن 117 / 115 / 102 .
 آ. ف. هاليموند 523 / 515 / 508 .
 آ. هانتش 439 .
 آ. هايد 814 .
 آ. ن. ج. هين 784 .
 آ. هرين 442 / 250 / 207 .
 آ. ت. هرتيغ 671 .
 آ. ل. هوست 462 .
 آ. هرليتزكا 671 .
 آ. هس 875 .
 آ. ف. هل 699 / 697 / 685 / 131 .
 آ. ف. هلرتري 791 .
 آ. همبرغ 506 .
 آ. هوارد 741 .
 آ. ب. هويل 602 / 601 / 600 / 595 .
 آ. هوفمان 822 .
 آ. هوكل 434 / 433 / 312 / 311 / 252 .
 448 .
 آ. و. هول 511 .
 آ. هولس 536 .
 آ. هولند 714 .
 آ. آ. هيلنتر 817 / 816 / 597 .
 آ. هيوز 818 .
 آ. هيوش 635 .
 آ. وارمنغ 825 .
 آ. واغنر 644 .
 آ. ت. س. والتون 385 .
 آ. والد 120 / 116 / 109 / 107 .
 آ. ف. والر 858 / 698 .
 آ. ش. واهل 450 .
 آ. وايزمان 668 .
 آ. و. ويبيل 898 .
 آ. ف. ولس 738 / 505 .
 آ. ل. وولگان 750 .
 آ. وندوس 463 .
 آ. ن. ونشل 515 .
 آ. ووكر 894 .
 آ. وولف 829 / 740 / 694 / 672 / 659 .
 917 / 853 .
 آ. وير 797 / 503 .
 آ. وينغر 981 / 772 .
 آ. ك. ويشر 700 .
 آ. ر. ويل 506 .
 آ. ج. ويلاند 778 .
 آ. ه. ويلسون 725 / 671 / 434 / 212 .
 816 / 744 .
 آ. س. ويليامز 137 .
 آ. يوزو 815 .
 آ. ف. يوفي 509 / 508 / 505 / 498 .
 972 .
- ب -
 بابا نيكولا 885 / 858 .
 بابكوك 754 .
 بابلسبرغ 550 .
 بابنسكي 906 .
 باتاغوتيا 987 / 767 .
 باتافيا 469 / 396 .
 باتايون 669 .
 باترسون 949 / 865 / 752 / 672 .

باري 555 / 712 / 943 / 952 / 840 .

باريقي 902 .

باريس 92 / 72 / 116 / 366 / 367 / 398 /

523 / 541 / 550 / 552 / 556 / 608 /

695 / 725 / 734 / 735 / 764 / 767 /

772 / 824 / 978 / 1002 / 1008 .

باريتاغو 610 .

باساديننا 562 / 783 .

باسانو 718 .

باست 883 .

باستور 11 / 18 / 464 / 650 / 658 / 662 /

694 / 797 / 846 / 868 / 913 / 928 /

949 / 963 / 1002 / 1007 .

باسكال 117 / 123 .

باسلر 712 .

باسوف 319 .

باسيفيك 729 / 1014 .

باسيلاريوفيسي 838 .

باسينوتي 346 .

باش باك 237 .

باشليه 103 / 106 .

باش 278 .

باش 112 .

باغانامس 59 / 61 .

بافلوف 944 / 1012 .

باكانوفسكي 329 / 392 .

باكينيللو 775 .

بال 467 .

بالاشومسكي 716 .

بالياني 746 .

بالثازار 927 .

بالر 237 / 238 / 741 .

بالومار 231 / 547 / 548 / 550 / 593 /

باليكا 776 .

باماتوسي 845 .

باتك 890 .

باتويار 841 .

باتيسون 743 / 749 / 759 .

باج 893 .

باجيس 680 .

باد 593 / 602 / 635 / 636 .

بادجيتان 778 .

بادر 80 .

بادو 835 / 992 / 993 .

باديش آنيلين 431 .

پارات 641 .

باراكلي 733 .

بارپر 914 .

باربي 605 / 874 .

بارتلت 110 .

بارتوش 941 .

باردون 776 .

باردي 892 .

باردين 333 / 334 .

بارسوم 941 .

بارغمانك 686 / 889 .

بارغهورن 815 .

بارك 741 / 902 .

باركر 612 / 870 / 878 / 920 / 949 .

باركروفت 867 .

باركس 935 .

باركلا 362 .

باركسون 892 .

باكهورست 578 .

باركهوسن 260 / 292 / 296 .

بارلو 511 .

بارنت 262 / 292 .

بارنس 387 / 840 / 921 .

باروت 941 .

بارون 858 .

322 / 323 / 440 / 713 / 772 / 855

947 .

براغستراند 897 .

براي 504 / 515 / 907 .

براند 900 / 924 .

براندتل 201 .

برانس تاون 373 .

برانغ 729 .

برانلي 287 / 293 .

براور 35 / 43 / 65 / 81 / 98 / 143 .

براون سيكارڊ 247 / 372 / 690 / 889

930 / 934 .

براون نوڊسن 952 .

برايت 292 / 299 / 484 / 866 .

برايس 269 .

برتران 650 / 651 / 935 .

برترانڊراسل 140 .

برٽس 947 .

البرٽفال 767 / 966 / 985 .

برٽهولڊ 884 .

برٽيسار 765 .

برٽيني 92 / 95 .

برجر 209 .

برجيوس 466 .

برزيلوس 790 .

برغمان 67 / 854 .

برغوني 947 .

بركلي 801 / 804 / 981 .

بركويڊل 370 .

برلين 102 / 172 / 367 / 454 / 732

962 .

برلين الشرقى 962 .

برلين داهلن 824 .

برمنفهام 946 .

برنارد 755 .

باناخ 37 / 38 / 105 / 143 .

بانتاورڊي لافولكس 723 .

بانتوز 804 .

بانتيل 344 .

بانر 866 .

بانسور 852 .

بانسون 801 .

بانسيي 401 .

بانغ 642 .

بالغالور 1002 .

بانكروفت 737 .

بانليفه 46 / 62 / 66 / 68 / 69 / 71 / 73

199 / 200 .

الباني 553 .

بانيكوك 605 / 606 .

بانييرا 94 .

باور 810 .

باول 401 / 404 .

باولس 950 .

باير 464 / 495 / 717 / 933 .

بايرنڊس 738 .

بايس 116 / 117 .

بايلي 64 / 590 / 728 .

باين كابوشكين 593 / 606 .

بترزلك 375 .

بترسون 65 .

بتروفسكي 79 / 101 / 143 .

بتلر 404 .

بتيت 551 / 583 / 584 .

بجورك 949 .

بڊفورد 892 .

البرازيل 539 / 985 / 986 / 987 / 988 .

براشاز 25 .

براغ 172 / 207 / 208 / 209 / 236

برنال 501 .	بروي 773 / 774 .
برنار ليوت 546 .	بروير 708 / 896 .
برنايز 27 .	بريت 389 / 391 / 741 .
برنستون 137 / 173 / 394 .	بريتاني 300 .
برنشتاين 52 / 61 / 62 / 78 .	بريتهوت 524 .
برنشم 811 / 844 .	بريتونو 875 .
برنهارد شميدت 232 / 642 .	بريدج 746 / 747 .
برنوت 209 / 754 .	بريدجس 342 .
برنولي 36 .	بريستول 404 / 406 .
برنهم 932 / 934 .	بريسلو 454 .
بروالي 765 .	بريسود 905 .
بروت 346 .	بريسورك 372 .
بروتيل 482 .	بريسيا 992 .
بروجستين 886 .	بريطانيا 133 / 135 / 137 / 139 / 194 /
بروخوروف 319 .	194 / 274 / 291 / 296 / 298 / 299 /
بروزوي 94 .	302 / 306 / 385 / 394 / 395 / 401 /
بروست 354 .	491 / 494 / 573 / 696 / 699 / 727 /
بروسل 319 .	750 / 1011 .
بروش 304 .	برينس 753 .
بروغر 506 .	بريفيلد 847 .
بروك 856 .	بريلوين 211 / 280 / 324 .
بروكارد 902 .	برير 291 / 860 .
بروكسل 556 / 820 / 964 .	برين 273 / 720 / 735 / 750 .
بروكيان 876 .	برينل 510 .
بروكت 384 / 772 .	برينهارت 67 .
بروكهافن 393 / 394 / 405 / 406 / 408 .	برسل 185 .
برولو 76 .	برسي 940 .
برون بلانكت 826 / 858 .	برغاف 96 / 98 / 139 .
برونر 854 .	برفلوگر 701 .
برونز 502 .	برفلوغفلدر 718 .
برونسند 312 / 434 / 435 .	برك 952 .
برونك 860 .	بركيل 274 .
بروني 886 .	بركين 778 / 1009 / 1013 / 1010 /
برونيز 874 .	1011 .
بروهات 38 / 64 / 79 .	برل 701 .

- بيلات 747 / 934 .
 بيلاتو 59 / 79 / 95 .
 بلارد 920 .
 بلاشڪه 67 .
 بلاڪ مور 717 / 898 .
 بلاڪيان 799 / 836 .
 بلاڪسلي 753 .
 بلالوڪ 898 .
 بلان لاپير 111 / 120 / 122 .
 بلاتي 349 .
 بلانسڪ 236 / 243 / 255 / 259 / 274 /
 283 / 284 / 604 .
 بلتيه 281 / 465 / 427 .
 بلجيسڪا 67 / 455 / 729 / 734 / 765 /
 809 / 816 / 964 .
 بلدنغ 717 .
 بلغاريا 991 .
 بلغرهويت 755 .
 بلنغ 747 .
 بلوتر 916 .
 بلوتون 566 .
 بلوخ 270 / 317 / 322 / 323 / 324 .
 بلوڪ 61 .
 بلومر 931 .
 بلومتال 58 / 902 .
 بلوموريودو 300 .
 بلوني 854 .
 بليت 877 .
 بليئي 268 .
 بنرديدج 981 .
 بنتهوفن 859 .
 البنجاب 778 .
 بنجس 921 .
 بنجمين فرنڪلين 273 / 316 .
 بنديڪت 865 / 867 / 895 / 900 .
 بنديسڪون 71 .
 بنروز 268 .
 بنسڪر 116 .
 بنسلي 656 .
 بنسود 856 .
 بنسيلفانيا 394 .
 البنغال 864 / 1001 .
 بنفيلڊ 906 / 907 / 953 .
 بنڪه 67 / 772 .
 بنهاهو 864 .
 بنوا 753 .
 بنيوف 488 .
 بيهابا 349 .
 بيرنغ 926 .
 بواشنڪو 801 .
 بوافان 661 / 666 / 753 .
 بوب 511 .
 بوبوف 287 .
 بويلويسڪي 864 .
 بويوفيسي 63 .
 بوير 192 / 908 .
 بوترو 69 / 71 / 852 .
 بوٽز 922 .
 بوتسدام 576 .
 بوتسو ياناجي 751 .
 بوتل 917 / 932 .
 بوتلنجر 852 .
 بوتليروف 446 .
 بوٽمان 930 .
 بوتيناند 885 .
 بوٿ 135 / 298 .
 بودون 75 / 868 .
 بوديان 898 .
 بور 55 / 62 / 65 / 743 / 876 .
 بوراس 481 .

- بورتشموت 291 .
 بورت 854 / 865 / 835 / 390 .
 بورتولوت 986 / 96 .
 بورتين 756 .
 بورجر 881 .
 بوردلي 861 .
 بوردن 337 .
 بورديو 326 .
 بورديلون 875 .
 بورديه 750 / 694 / 661 .
 بورروايال 117 .
 بورسل 345 / 317 .
 بورشير 855 .
 بورغاتي 55 .
 بورغينيون 860 .
 بوركهارد 125 .
 بوركيني 684 / 577 .
 بورمان 890 .
 بورميستر 708 .
 بورن 942 / 331 / 241 / 239 / 196 .
 بورنر 708 .
 بورنهام 890 .
 بورو 292 / 79 / 60 .
 بوريس روزن 302 .
 بوريسكو 642 .
 بوريل 927 / 141 .
 بوريون 61 .
 بوز 412 / 323 / 321 / 320 / 253 / 243 .
 بوسان [بواسون] 108 / 71 / 49 / 29 .
 بوست 577 / 256 / 186 / 138 / 109 .
 بوست 126 .
 بوستيك 336 / 252 .
 بوستن 908 / 695 .
 بوسيان 99 .
 بوسورت 950 .
 بوسينسك 203 .
 بوشارد 925 .
 بوشكين 134 .
 بوشتر 650 / 87 .
 بوغاني 183 / 182 .
 بوغر 576 / 487 / 485 / 484 .
 بوغونا 985 .
 بوغوريلوف 99 .
 بوغوليويوف 384 / 343 / 337 / 334 .
 بوغت 941 .
 بوغفورت 736 .
 بوغون 247 .
 بوغيري 725 / 724 / 723 .
 بوغيه 942 / 805 .
 بوك 698 / 608 .
 بوكاج 855 .
 بوكال 860 .
 بوكستون 754 .
 بوكتر 722 / 139 .
 بوكي 948 / 852 .
 بولاشيك 55 .
 بولاق 997 .
 بول اهرليك 464 .
 بول ساباتييه 457 .
 بول لانجفان [لانسجين] 246 / 245 / 172 .
 بول 264 / 261 / 260 / 259 / 258 / 257 .
 بول موئتل 61 / 59 / 57 / 54 / 50 / 28 .
 بول 134 / 127 / 125 / 95 / 65 / 64 / 63 .
 بولي 917 .
 بولي 911 .
 بولزمان 281 / 271 .
 بولتوود 358 .
 بولدر 317 .
 بولكوفو 633 / 554 / 553 .

- بولنغا 454 / 512 / 891 .
 بولونغا 927 .
 بولونيا 29 / 143 / 966 .
 بولي 159 / 160 / 187 / 241 / 243 / 244 / 264 / 320 / 323 / 331 / 365 .
 378 / 411 / 413 / 417 / 756 / 936 .
 بوليا 61 / 62 / 69 / 103 / 106 .
 بولياكوف 131 .
 بولتيزر 660 .
 بوليسومي 752 .
 بوليفان 78 / 99 .
 بوليفار 985 .
 بوليكارد 676 / 858 / 903 .
 بوليكن 852 .
 بوم 573 .
 بومباي 1002 .
 بومياني 95 / 96 .
 بومبيو 54 / 55 / 56 .
 بون 855 .
 بونا 1002 .
 بونابرت 992 / 993 .
 بونترياغين 38 / 143 .
 بونتكورفو 401 .
 بونجيوفاتي 865 / 866 .
 بونديشيري 549 / 1002 .
 بونس 927 .
 بونسن 237 .
 بونيوس ليرس 987 .
 بونيل 740 .
 بونيه 759 .
 بوهر 355 / 383 / 384 / 605 / 867 .
 983 .
 بوهل 215 / 326 / 327 / 948 .
 بوهلن 835 .
 بوهم 338 / 342 / 343 .
 بوهن 737 / 741 .
 بوورس دانيتوفن 851 .
 بويارسكي 55 .
 بويدن 853 .
 بوير 261 .
 بويزو 66 .
 بويس 606 / 633 / 691 / 884 / 886 / 902 / 953 .
 بياركوري 19 / 162 / 213 / 257 / 260 / 261 / 266 / 357 / 358 / 359 / 361 / 362 / 414 / 503 / 535 .
 بيارماري 906 .
 بيارويس 259 / 260 / 261 .
 بيانتي 95 .
 بيانكي 997 .
 بيانو 70 .
 بيانيز 857 .
 بيريخ 63 .
 بيريس 991 .
 بينغ 26 .
 بيت - ريفرس 884 .
 بيتر ديبه 211 / 250 / 252 / 254 / 260 / 264 / 313 / 314 / 319 / 433 / 434 / 500 .
 بيترس 670 / 725 / 895 .
 بيتتر 665 / 751 / 755 / 865 .
 بيتي 34 / 43 / 98 / 211 / 254 / 255 / 282 / 753 / 950 .
 بيتيس 87 .
 بيت 325 / 397 / 405 / 406 / 420 / 859 / 953 .
 بيدل 749 / 750 / 753 .
 بيراز 853 .
 بيرانوني 715 / 717 .
 بيرسون 518 / 755 .

بيکيفي 341 .	بيرکوف 71 / 72 / 144 .
بيلوت 948 .	بيرکيلاند 293 .
بيلوروسيا 970 .	بيرلس 211 / 324 .
بيلي 947 / 951 / 953 .	بيرمان 610 .
بيلينغ 843 .	بيرونسيو 641 .
بيناک 733 .	بيرو 236 / 346 / 478 / 824 / 987 .
بينس 334 / 342 / 343 .	988 .
بينوا 676 .	بيرون 62 .
بينيت 942 .	بيري 135 / 143 .
بيوستي 723 .	بيريس 199 / 202 .
بيير لامبرت 440 .	پيريه دي لاپاتي 823 / 868 .
بيير ناكي 61 / 63 .	بيزا 92 .
بيروم 311 / 312 .	بيزارد 884 .
بيدجون 453 .	بيزني 483 .
ب. ابستين 297 .	بيزنسون 904 .
ب. آيلسون 450 .	بيسفام 106 .
ب. آدلن 562 .	بيسون 780 .
ب. اردوس 24 .	بيسيس 755 .
ب. س. الکسندروف 973 .	بيسيکوليتش 51 .
ب. آليس 340 .	بيشوب 935 .
ب. آليوت 567 / 568 .	بيشيوني 401 / 408 .
ب. آنسل 690 / 691 .	بيغارت 872 .
ب. آوتلت 135 .	بيغن 890 .
ب. آوجيه 367 / 397 .	بيغي 584 .
ب. آوريان 515 .	بيفاترون برکلي 393 / 394 / 395 / 401 .
ب. اسپورن 462 .	406 / 408 / 419 .
ب. آوشاکوف 711 .	بيکارڊ 143 / 261 / 608 / 716 .
ب. آيوالد 496 .	بيکارسکي 717 .
ب. آ. باراتف 821 .	بيک دوميدي 406 / 519 / 901 .
ب. آ. بارييه 456 .	بيکر 367 / 368 / 369 / 582 .
ب. ب. بارونياغو 588 / 589 / 590 / 591 .	بيکرنغ 549 / 576 / 577 / 578 / 581 .
592 .	585 / 586 / 588 / 589 / 975 .
ب. بايرو 768 .	بيکي 347 .
ب. پراکونو 645 .	بيکلير 852 / 947 .
ب. برودي 934 .	بيکوس کوني 529 .

- ب. بروسيانېك 930 .
 ب. بروفوست 537 .
 ب. برومي 500 .
 ب. و. بريدمان 251 .
 ب. بلاس 506 / 507 .
 ب. بلاسا 644 .
 ب. م. م. س. بلاك 137 / 364 / 368 .
 ب. 397 / 404 .
 ب. بلوك [بلوش] 919 .
 ب. بوفيتش 974 .
 ب. بوت 894 .
 ب. بورتيه 873 .
 ب. بورشير 852 .
 ب. ف. بورك 634 .
 ب. ر. بوركهولدر 929 .
 ب. بوويل 838 .
 ب. بوزان جنسن 731 / 784 .
 ب. يوس 553 .
 ب. بوكتر 717 .
 ب. پولنغ 648 .
 ب. بونتيكوفو 965 .
 ب. بونيرو 568 .
 ب. بوين 690 .
 ب. بيكيه 645 .
 ب. تاردي 530 .
 ب. ترميه 520 .
 ب. ب. م. س. تروجانسكي 134 .
 ب. ج. نيلاك 999 .
 ب. تيلهارد دي شاردان 769 / 778 .
 ب. جانيت 910 .
 ب. جيروود 916 .
 ب. دانا 999 .
 ب. دارالغتون 736 .
 ب. دانجير 817 / 846 .
 ب. دايفيد 298 .
 ب. دوا 590 .
 ب. و. دودج 839 / 840 .
 ب. دوران 916 .
 ب. م. دوغار 930 .
 ب. دوفينيوه 827 .
 ب. دوهم 150 .
 ب. آ. ديراك 161 / 730 .
 ب. ديف 539 .
 ب. دي فونيرون 642 .
 ب. دي فيني 102 / 118 .
 ب. راي 465 .
 ب. راتير 825 .
 ب. راي 828 .
 ب. رامدوهر 522 / 532 .
 ب. روسير 25 .
 ب. و. ريشاردس 827 / 830 .
 ب. زونلك 692 / 883 / 885 / 886 .
 ب. زين 273 .
 ب. سابن تروفي 841 .
 ب. سالكس 934 .
 ب. ساندر 519 .
 ب. ساهني 814 / 833 .
 ب. ر. ستوت 805 / 807 .
 ب. آ. سكارد 840 .
 ب. آ. سميت 883 .
 ب. سيف 507 .
 ب. شاتلان 501 .
 ب. شارير 718 / 720 .
 ب. آ. شايويس 733 .
 ب. شميدت 548 .
 ب. شوار 787 .
 ب. شوستر 652 .
 ب. شوفاليه 917 .
 ب. شيفينار 515 .
 ب. شيك 874 .

- ب. غافودان 816 .
ب. غالتيزين 530 .
ب. غرابار 862 .
ب. ب. غراسي 642 / 707 / 709 / 738
740 / 741 / 752 / 762 .
ب. غروت 511 / 516 .
ب. غريغوروف 526 .
ب. غريقه 290 / 305 .
ب. غوبوت 501 / 502 / 505 / 507 .
ب. غوتنبرغ 489 .
ب. غوتنيك 589 .
ب. س. غيلمور 140 .
ب. فاتو 65 .
ب. فالكنبرغ 835 / 845 .
ب. فان ايرن 344 .
ب. ل. فان درواردن 143 .
ب. ه. فان ستيت 352 .
ب. فرمي 836 .
ب. فونبرون 705 .
ب. فيلار 360 .
ب. فيلدس 465 .
ب. ل. كاييتسا 250 / 973 .
ب. گانز 685 .
ب. كارلسن 719 .
ب. كاريسر 470 / 800 / 875 / 876
877 .
ب. كالدول 126 .
ب. كاميرر 759 .
ب. كانون 131 .
ب. ن. كرويوتكين 522 .
ب. كلارك 838 .
ب. كلمبرير 921 .
ب. كلين 713 .
ب. كنوت 843 .
ب. كودير 568 / 602 .
ب. كورغان 846 .
ب. كوري 851 .
ب. و. كوكاركين 588 / 589 .
ب. ن. كولوبوف 593 .
ب. كوين 917 .
ب. لا بوريت 943 .
ب. لا بوستول 297 .
ب. لورولان 510 .
ب. لوموان 759 .
ب. لويل 558 / 567 .
ب. ليديف 276 .
ب. لينين 917 / 928 .
ب. ليفي 93 / 102 / 104 / 105 .
ب. لينارد 425 .
ب. ليوت 562 .
ب. ليونه 718 .
ب. ج. مارتن 509 .
ب. مارتنس 816 .
ب. مارزين 207 / 235 / 244 / 250
409 / 431 / 434 / 449 .
ب. مارلينوف 708 .
ب. ماري 882 .
ب. مازيه 805 .
ب. مامي 118 .
ب. ماغوير 821 .
ب. مال 912 .
ب. ماهشوازي 815 .
ب. ك. ماهولونويس 102 .
ب. مرسين 252 / 255 / 425 / 619 .
ب. مك كليتزك 746 .
ب. ج. ملوت 566 .
ب. مندلبروت 122 / 133 .
ب. موتزيكوناشي 912 / 914 .
ب. ر. موئلزن 383 / 384 .
ب. ف. موسيل 914 .

- ب. مولارت 915 .
 ب. مولر 467 / 585 / 828 .
 ب. ب. ميداور 696 .
 ب. و. ميريل 591 .
 ب. ي. ميلز 633 / 636 .
 ب. م. ميهتا 1000 .
 ب. نويكورت 783 .
 ب. س. نوپيكوف 973 .
 ب. نېغل 504 / 517 / 518 / 522 / 532 / 533 .
 ب. ج. هارفي 451 .
 ب. هننفس 840 .
 ب. س. هريكنز 452 .
 ب. ل. هوريكر 794 .
 ب. آ. هوساي 880 / 987 .
 ب. ي. وارن 513 / 516 .
 ب. ر. وايت 783 / 805 .
 ب. ر. ولسون 808 .
 ب. س. ولس 732 .
 ب. وولف 734 .
 ب. ج. ويننغ 917 .
 ب. ويس 214 / 672 .
- ت -
 تابلهن 864 / 865 .
 تاي 40 .
 تادجيڪستان 969 / 970 .
 تاكاي 877 .
 تالبوت 916 .
 تاليراك 854 / 954 .
 تام 340 / 581 .
 تاماهوسر 864 .
 تاميوف 970 .
 تاناكا 756 .
 تانغانیکا 776 .
 تانيري 66 .
 تانيون 680 .
 تاوارا 684 .
 تاونس 346 .
 تايسن 867 .
 تاييلور 26 / 51 / 61 / 62 .
 تبستي 776 / 779 .
 تجيو 755 .
 تدينغتون 482 .
 تراب 443 .
 ترانتون 780 .
 تركستان 778 .
 تركمانيا 969 / 970 .
 تركيا 102 / 991 .
 ترمارتيروسيان 391 .
 ترمبلر 190 .
 ترمن - ميريل 911 .
 ترنيفين 776 .
 ترواژه 902 .
 تروينكوف 341 .
 تروتا 950 .
 ترول 812 .
 ترومي 1002 .
 تريبونديو 947 .
 تريفلپيس 340 / 342 .
 تريفوويل 932 .
 تريكومي 80 .
 تريفال 98 .
 التساد 776 .
 تساي يوان بي 1009 .
 تستين 751 / 834 / 885 / 887 .
 تسلا 346 / 348 .
 تسين هيوسن 1012 .
 تشابليغوين 972 .
 تشاشونين 705 .

- تشامبرس 705 .
 تشانغ هياوتسين 1012 .
 تشايلد 285 .
 نشرماك 754 / 747 .
 تشوداكوف 26 .
 تشوغايف 457 .
 تشوكوتشين 1012 .
 تشونغ وي لان 1012 .
 تشي تاي شوانغ 60 .
 تشيك 95 .
 تكساس 529 .
 تار 380 .
 تليستار 621 / 619 .
 تليجين 286 .
 تئرجن 238 .
 تندال 242 .
 تندلر 884 .
 تنغ كيان 1009 .
 توپليتز 51 .
 توپيانا 948 .
 توتنهام 805 .
 تود 926 / 36 .
 تودور 903 .
 تودوك 1005 .
 توران 62 / 25 .
 تويين 926 / 756 .
 تورت 844 .
 تورترات 111 .
 تورك 917 .
 تورنر 873 / 756 .
 تورنهاف 55 .
 تورود 852 .
 توريس كينيدي 917 / 140 .
 توريسون 823 .
 توريشلي 229 .
 تورين 860 .
 توريه 667 .
 توستن 132 .
 توسكانه 775 .
 توغلياتي 96 .
 توف 299 / 292 .
 توفرو 715 .
 توكانولا 1015 .
 تولر 122 .
 تولمان 282 .
 تولوز 306 .
 توليف 677 .
 تولين 67 / 63 / 60 .
 توم 36 .
 توماس راي 752 / 623 / 613 .
 تونيرغ 792 .
 تونس 991 .
 تونستد 307 .
 تونلي 77 .
 تونولو 55 .
 نولان 696 .
 تيان شان 1011 .
 تيبولت 753 .
 تيتروود 321 .
 تيتس 93 .
 تيتشاش 737 .
 تيجرستد 893 .
 تيجروليفان 873 .
 تير 345 / 234 .
 تيراسيني 95 / دج .
 تيروس 621 .
 تيسوه 683 .

- ت. رافرتي 904 .
 ت. رايخشتاين 936/822 .
 ت. روس 130 .
 ت. ريبوت 910 .
 ت. و. ريتشاردس 424 .
 ت. ا. سترن 592/591 .
 ت. سفديز 437 .
 ت. سيكيلاند 451 .
 ت. نيمون 911 .
 ت. شموكر 812 .
 ت. س. كويما تروف 138 .
 ت. كيلبرن 139 .
 ت. م. لوري 434 .
 ت. د. لي 417 .
 ت. ليهان 827 .
 ت. د. ليسكو 787 .
 ت. ه. مورغان 982/843/745 .
 ت. ميان 346 .
 ت. ه. مونتنغمري 683 .
 ت. مونود 828 .
 ت. هال 251 .
 ت. هوکسلي 738 .
 ت. ويگلوند 892 .
 ت. ويلر 908 .
- ث**
- ثرفول 98 .
 ثورب 738 .
 ثورن 935/865 .
 ثونون 733 .
 ثيرون 248 .
 ثيو 26 .
 ث. ب. اسپورن 875 .
 ث. ثونبرغ 654 .
- تيميه 914/761/754/725 .
 تيكويراهي 544 .
 نيكوف 581 .
 تيل 712/328 .
 تيلمان 388 .
 تيليارد 713 .
 تيموشنكو 202 .
 تيموفيف 752/748 .
 تينل 941 .
 تينيان 736 .
 يتوج، ساهاما 524 .
 تيودورسكو 55 .
 تيوير 326 .
 تيورييل 685 .
 ت. آدنجر 768 .
 ت. ب. آلدريش 881 .
 ت. ر. آليوت 698 .
 ت. ب. آوسپورن 807/470 .
 ت. ث. باترسون 778 .
 ت. ف. باركر 499 .
 ت. برايس 670 .
 ت. ه. برون 913/798 .
 ت. بلوم 919 .
 ت. بوردي 462 .
 ت. بورونوسكي 685 .
 ت. بويغوين 510 .
 ت. تانيغوشي 915 .
 ت. توري 590 .
 ت. تيتنبرغ 790/650 .
 ت. داکن 316 .
 ت. هونهام 567 .
 ت. دي دوندر 247 .
 ت. دي سومور 798 .
 ت. دي مارتيل 953/906 .

- ث. ج. ساهاما 532 .
ث. فون كارمان 510 .
- ج -
- جاسبرسن 907/732 .
جاغاديش شاندرابوز 1002
جاغال 865 .
جاني 950 .
جاك برنولي 117 .
جاك تاجر 997 .
جاك كوري 357 .
جاكس 886/866 .
جاسون 907 .
جاكوس 905/856/756 .
جاس ديوار 431 .
جاس شانويك 368/367 .
جاس فرانك 800/284/2387/172
981/962 .
جاس واط 128 .
جان بيران [براين] 245/245/171/151
247/248/249/279/354/359
432/609/963 .
جان دي مورغان 771
جان كومنتون 705/642 .
جان ماري 915/877/875/865 .
جانسن 877 .
جانسكي 677/292 .
جانكو 917 .
جانيه 115/102/74 .
جاييل 866/865 .
جبال الالب 772 .
جبال اليرينه 733 .
جبال الكاريات 734 .
جبل طارق 777 .
جرجي زيدان 997 .
- جرلاش 318/269/264/262/239 .
جرمانيا 771 .
جرمر 500 .
الجزائر 991/777/776 .
جزر الانتيل 538 .
جزر الباسيفيك 824 .
جزر ليبيريا 767 .
جزر بسمارك 137 .
جزر بكيني 752 .
جزر رودولف 972 .
جزر غرينلند 767 .
جزر فيجي 835 .
جزر كوريل 711 .
جزر الكومور 710 .
جزر ماريان 731 .
جزر هاواي 618 .
جزر اليابان 711 .
جزيرة القمر 562/546 .
جشونيد 345 .
جفريس 101 .
جل مان 406/405 .
جلمو 931 .
جمال الدين الشيال 997 .
جمشيدبور 1002 .
جنتش 61 .
جنتزر 369 .
جنسن 904/382/65 .
جنوي 855 .
جنيف 824/757/408/393/349 .
جواوست 292 .
جوايه 720/714 .
جويرت 928/348 .
جوديه 950 .
جوردان 411/239/115/65/31/28 .
جورج فون هيفسي 966/514/450/424 .

- جورج لومتر 629 .
- جورج اليربي هال 547 / 545 / 544 / 562 / 563 / 565 / 580 / 597 / 914 / 978 .
- جوريج 944 .
- جوزيفس 875 .
- جوزيف هنري 983/975 .
- جوست 885/694 .
- جوستراند 817 .
- جوفيه 202 .
- جوكوف 919 .
- جوكوفسكي 972 .
- جول 245/281/149 .
- جولد هابر 370 .
- جولي 885/705 .
- جوليا 143/65/61/60 .
- جوليوت كوري 884/861/655 .
- جوليوس طومسون 272 / 257 / 237 / 162 / 273 / 274 / 275 / 276 / 278 / 279 / 280 / 281 / 284 / 295 / 304 / 306 / 307 / 310 / 350 / 354 / 359 / 362 / 364 / 424 / 425 / 426 / 429 / 430 / 431 / 500 / 812 .
- جونشير 927 .
- جونغ 534/519/209 .
- جوهان هـ. لامير 623 .
- جوهانسن 833/728/304 .
- جوهانسمبورغ 549 .
- جوي 592 .
- جيادر 733 .
- جيبس 503 / 429 / 250 / 247 / 151 / 907 .
- جيتل 360 .
- جييجر 369 / 368 / 367 / 363 / 360 / 377 / 855 / 403 / 947 .
- جيچن ولت 738 .
- جييجي 719/467 .
- جيرارد 932/927/885/683 .
- جيرافني 865 .
- جيرمان 80 .
- جيروار 927/914 .
- جيروش 825 .
- جيروفش 713 .
- جيزيونك 916 .
- جيفري 106/80/78 .
- جيفريس 558/552 .
- جيسا 661 .
- جيمس هول 537/276 .
- جيننغر 737/715 .
- جيورجيا 973/970 .
- جيوك 260/250 .
- ج. آيل 880 .
- ج. إثناسيو 509 .
- ج. أدسال 685/316 .
- ج. أرمقان 832/814 .
- ج. أرلانجر 697 .
- ج. أرنيه 842 .
- ج. أريكسون 841 .
- ج. ب. استوب 133 .
- ج. اسكيفن 527 .
- ج. أ. أفرموف 768 .
- ج. آلارد 431 .
- ج. الستير 282 .
- ج. ل. الكسندر 686 .
- ج. ج. الواتو 912 .
- ج. و. اليسون 134 .
- ج. امينوف 500 .
- ج. أنطوني 768/764 .
- ج. أوبرلينغ 666 .
- ج. ر. أوينبهر 981 .
- ج. آربوين 537 .

- ج. آودني يول 101 .
ج. آورين 508/452/450 .
ج. هـ. آورت 635/233 .
ج. آورسل 441/355/251/207/448/518/517/514/507/506/448/538/522 .
ج. آ. آورلوف 768 .
ج. آ. آوستر 314 .
ج. آورنون 667 .
ج. آولفيه 894 .
ج. آونكلي 316 .
ج. ف. آوهلنيك 427/159 .
ج. ك. آيرفين 590/462 .
ج. ب. آيري 480 .
ج. آ. آيستمان 852 .
ج. آ. آيفون 314 .
ج. آ. آيهد 899 .
ج. آ. آيوآن 821 .
ج. آ. آ. آبونخ 256 .
ج. آ. آاردين 328/327 .
ج. آ. آاركروفت 790 .
ج. آ. آاركن 834 .
ج. آ. آ. آارنارد 704 .
ج. آ. آ. آاروٹ 903/874 .
ج. آ. آاسك 139 .
ج. آ. آ. آالاد 817 .
ج. آ. ي. آالدين 636 .
ج. آ. آانليفيه 705 .
ج. آ. آ. آايكر 430 .
ج. هـ. آيرات 480 .
ج. آ. آراشيہ 818/807/666/656 .
ج. آ. آ. آراون 825/462/138 .
ج. آ. آ. آرتان 900/805/647 .
ج. ك. آرتس 946 .
ج. آ. آرمهولت 844/839/835 .
ج. آ. آرجر 884/504 .
ج. آ. آرستاي 812 .
ج. آ. آ. آرنال 525/512 .
ج. آ. آروفوست 508 .
ج. آ. آروفوه 759/732 .
ج. آ. ب. آرپور 526 .
ج. آ. آ. آسآم 804 .
ج. آ. آكريل 508 .
ج. آ. آ. آلان 459 .
ج. آ. آ. آلانشارد 777/772 .
ج. آ. آونر 786/784/783 .
ج. آ. آومر 811 .
ج. هـ. آوبيدج 609 .
ج. آ. آوبديه 694/678/677 .
ج. آ. ش. آوز 293 .
ج. آ. آ. آوزي 636/633 .
ج. آ. آ. آوشولتز 815 .
ج. آ. آوشون 717 .
ج. آ. آ. آوفي 797 .
ج. آ. آ. آوكهولز 833 .
ج. آ. ر. آول 913 .
ج. آ. ر. آولانجه 119 .
ج. آ. ج. آولتون 635/634/633/594 .
ج. آ. آوليا 101 .
ج. آ. آونشيكورفو 848 .
ج. آ. آ. آونهيول 719 .
ج. آ. آونيه 823 .
ج. آ. آويسولي 776 .
ج. آ. س. آوين 574 .
ج. آ. هـ. آويتن 276 .
ج. آ. آيترا 140 .
ج. آ. آ. آيترسن 730/727 .
ج. آ. م. آيجفوت 460 .
ج. آ. آيجيلو 128 .
ج. آ. آيدل 982 .
ج. آ. ر. آيرس 341/305/297 .

- ج. داراموا 108/105/102 .
 ج. داربو 92/92/75/74/35 .
 ج. داسي 328 .
 ج. دالدورف 908 .
 ج. دالوس 228 .
 ج. دانا 537 .
 ج. ل. ا. دراير 598 .
 ج. دروخان 501 .
 ج. دوبري 774/500/306/305 .
 ج. دوسر دي بارين 699 .
 ج. دوفي 594/577 .
 ج. دوماس 910 .
 ج. دوماغ 464 .
 ج. دي غراف هنر 486 .
 ج. دي غير 773 .
 ج. دي مورتيلى 772 .
 ج. دي هازلورنر 290 .
 ج. ديوكوا 472/470/466/354 .
 692/687/682/662/657/649 .
 ج. ب. ديتوني 835 .
 ج. دشا 521/505/504/502 .
 ج. ديشليت 781/771 .
 ج. ديفلندر 838/712 .
 ج. ف. ديك 913 .
 ج. ديلافوس 511 .
 ج. ديوننس 917 .
 ج. ديني 81/76 .
 ج. ف. دينيس 633/244 .
 ج. ر. رابر 846 .
 ج. رابي 269 .
 ج. رامون 928 .
 ج. ت. راندال 668 .
 ج. رايشان 303 .
 ج. ب. ريكا 194 .
 ج. رنكي 845/835 .
 ج. روجر 541 .
 ج. بيركهوف 558/201/187 .
 ج. برنيه 297 .
 ج. بيريه 479/450 .
 ج. بيزيوسكي 767 .
 ج. ه. بيفارت 686 .
 ج. بيفينو 777/768 .
 ج. پينكوس 670 .
 ج. تاكامين 881 .
 ج. ناكهولم 816 .
 ج. تامان 513/503/449 .
 ج. ناونسند 279/274 .
 ج. تروشين 827 .
 ج. تريكات 774 .
 ج. تريلا 500 .
 ج. تشرماك 502 .
 ج. تور 835 .
 ج. تيهوه 414/369/367 .
 ج. ه. تيشنر 670 .
 ج. تير 294/293 .
 ج. تيلاك 517/236 .
 ج. جاداسون 874 .
 ج. ب. جاكس 941 .
 ج. جاكوب 750/646 .
 ج. و. جنكسون 672 .
 ج. جوجل 538 .
 ج. جونستون ستوني 272 .
 ج. جونسون 290 .
 ج. جولي 642 .
 ج. جيانيني 252 .
 ج. جيرو 78/64 .
 ج. جيليس 683 .
 ج. ج. جنينر 153/152 .
 ج. جينس 611/568/558 .
 ج. جينغو 661 .
 ج. جنيلمي 658 .

- ج. روجيه 550 .
ج. روستان 669/753 .
ج. روش 491/676 .
ج. روک 671 .
ج. و. ريتشي 547/599 .
ج. ريلي 915 .
ج. ک. زيف 133 .
ج. زيليني 278 .
ج. سابايتيه 533 .
ج. ل. سافاج 118 .
ج. ساکس 809 .
ج. سالک 928 .
ج. ک. ساوئورث 632 .
ج. د. ساير 807 .
ج. سي 875 .
ج. م. ستراتون 562 .
ج. و. ستروث 449 .
ج. ج. ستوکس 485 .
ج. ستينيس 550/579/823/843 .
ج. آ. ستيملوک 821 .
ج. ستينيرغ 633 .
ج. ن. سدويک 428 .
ج. سلاکر 298/428/448/723 .
ج. سميسون 761/767/769/949 .
ج. سميت 304/710/716/717/
832/836/840 .
ج. ب. سنديرمن 457 .
ج. سورهوک 522 .
ج. ب. سوشيه 331 .
ج. ب. سومر 650 .
ج. سيورغ 450/981 .
ج. ج. سيدرهولم 520 .
ج. سين 838 .
ج. م. شارکوه 906/910 .
ج. ک. شارلزورت 772 .
ج. آ. شامبوف 954 .
ج. شرمان 512 .
ج. شميدت 357/732/739/704 .
ج. شنيدر 933 .
ج. س. س. شو 140 .
ج. م. شوارتز 522 .
ج. ر. شوين 451 .
ج. شودرون 515 .
ج. شوفو 809/810 .
ج. شوکيه 76/78 .
ج. ف. شياپارلي 567 .
ج. و. شيف 805 .
ج. ک. شيهان 466 .
ج. غاردنر 912 .
ج. ه. غادوم 698 .
ج. غامو 159 .
ج. و. غرونر 502 .
ج. غرونو 838 .
ج. غرينوود 509 .
ج. م. غلفاند 973 .
ج. غودرناتش 690 .
ج. غوردن 318 .
ج. غورغاس 927 .
ج. غوري 781 .
ج. غوين 955 .
ج. ت. غيلپوه 118 .
ج. ب. غارمر 667 .
ج. ي. فاويل 683 .
ج. فافرو 912 .
ج. آ. فان آلن 399 .
ج. فان أوفريک 789 .
ج. فان فليک 315/428 .
ج. فودريک 642 .
ج. فوهوغن 521 .
ج. فريدل 501/502/503/504/505/
515/526 .

- ج. قسار 699 .
ج. هـ. منستر 824 .
ج. فلدمان 845 .
ج. فلبروف 451 .
ج. ن. فليونسكي 828 .
ج. أ. فليمنغ 282 .
ج. فون آلر 500 .
ج. هـ. ل. فوغت 526 .
ج. فون بيكيزي 699 .
ج. فون جيلي 713 .
ج. فون كريس 701 .
ج. فون نيومان 124 / 72 / 39 / 38 / 27 / 127 / 128 / 136 / 138 / 144 / 276 .
966 .
ج. فون هيغسي 948 .
ج. فون واغتر 944 .
ج. هـ. فيتزمان 916 .
ج. ب. فيجيه 164 .
ج. فيل 236 / 122 .
ج. أ. فيلمين 903 .
ج. فيهر 319 .
ج. كابان 510 .
ج. ب. كاربلوس 699 / 686 .
ج. كارستن 825 .
ج. كارمون 295 .
ج. كازيمير 268 .
ج. كالين 769 / 764 .
ج. أ. كانرايت 835 .
ج. و. كايلى 804 .
ج. ك. كراميتون 808 .
ج. آ. كرانتون 358 .
ج. كرون 289 .
ج. هـ. كريجي 847 / 841 .
ج. و. كريستيانس 683 .
ج. د. كلارك 779 .
ج. كلوزن 823 .
ج. كليس 835 .
ج. ج. كليغان 916 .
ج. ك. كندرو 685 / 677 .
ج. كوردونه 135 .
ج. و. كورنر 691 .
ج. كوزان 751 .
ج. كوش 843 / 801 / 306 .
ج. كوفيه 767 / 763 .
ج. و. كوك 919 .
ج. م. كولتر 833 .
ج. ب. كولب 881 .
ج. ب. كونانت 981 / 800 .
ج. كونفرت 344 .
ج. كونيغسبرجر 507 .
ج. ب. كيپر 567 / 566 / 551 .
ج. كيركود 314 .
ج. و. كيغ 135 .
ج. ش. كيندي 450 .
ج. و. كيف 592 .
ج. ج. لاتيس 796 .
ج. لاجرهيم 814 .
ج. لاري 98 / 81 / 79 .
ج. لافال 510 / 206 .
ج. لافرتي 344 .
ج. ن. لانغلي 699 / 698 / 686 .
ج. ف. لسرا 472 / 471 / 470 / 468 .
535 / 652 / 653 / 654 / 687 / 835 / 841 .
ج. لمبرت 954 .
ج. لوب 736 / 721 / 691 / 669 .
ج. ب. لوتسي 832 / 841 .
ج. لوجون 873 .
ج. لوراي 79 / 35 .
ج. هـ. م. لورنس 948 / 835 / 833 .
ج. لوفران 827 .

- ج. لوسيزك 207 / 235 / 244 / 250
ج. 252 / 255 / 409 / 425 / 431 / 434
ج. 619
ج. لويب 122
ج. ن. لويس 247 / 427 / 428 / 430
ج. 435 / 454
ج. ليتل 633
ج. ليدبريغ 750
ج. ليفي 482
ج. ليبي 774
ج. ي. لينار جونسن 428 / 447 / 491
ج. 950
ج. ليندو 840
ج. ب. ليهان 768 / 932
ج. ماتير 510
ج. ب. ماجومدار 812
ج. ب. مارتن 443 / 840
ج. آ. مارنسكي 449
ج. ماسكات 589
ج. ك. ماكسويل 121
ج. ج. ماكليود 880
ج. ماكيني 805
ج. ماليكوت 110
ج. ماليه 853 / 898
ج. مانجينوت 816 / 817 / 827
ج. ماي 785 / 854
ج. د. مايور 880
ج. ي. ماينارد 523
ج. متكلاف 296
ج. ملك لين 438 / 941
ج. ملك. هارغ 805
ج. ملشر 787
ج. مليوت 540 / 736
ج. و. آ. موتيلت 771
ج. ا. مور 667
ج. موراي 731
ج. موروسويز 526
ج. موري 340 / 526
ج. موقي 732
ج. و. موكل 124
ج. مولنسيد 306
ج. مونتاناري 588
ج. مولر 584 / 588 / 842
ج. ميرمان 558
ج. ب. ميريل 946
ج. س. ب. ميلر 24
ج. ر. مينوت 878
ج. ميبوه 710 / 768
ج. ا. نانفلدت 842
ج. ب. نبش 788
ج. ك. نويل 759
ج. هـ. نوروتروب 650
ج. نومارسكي 506
ج. نيدهام 674 / 658 / 1010 / 1011
ج. نيلين 892
ج. نيهان 112
ج. هاتسبولوس 349
ج. م. هاس 916
ج. ب. س. هالوان 745 / 790
ج. هانستين 815
ج. س. هاي 562 / 632 / 634
ج. و. هاي 467
ج. ل. هاي 796
ج. هجورت 731
ج. هدامارد 24 / 27 / 58 / 61 / 62 / 70
ج. 75 / 76 / 79 / 80 / 83 / 84 / 85 / 87
ج. 89 / 143
ج. هـ. هوبنغ 592
ج. هرتز 172 / 284
ج. ش. همفري 469
ج. ك. هنسي 127

- ج. هويكنس 585 .
 ج. هوتسون 834 .
 ج. هورزلى 769 .
 ج. و. هوفر 914 .
 ج. س. هوكل 823/761/673 .
 ج. هولت 672 .
 ج. هولتفريت 674 .
 ج. هولفريين 954 .
 ج. هومر 603 .
 ج. هيروفسكي 440 .
 ج. ف. هينورد 481/480/479 .
 ج. د. واطسون 818/737/703/648 .
 ج. ر. والتون 451 .
 ج. ك. وايت 699 .
 ج. وايتهد 37 .
 ج. ب. وايدل 635/633 .
 ج. س. وست 837 .
 ج. س. ولسون 916/915 .
 ج. ولويتسكي 817 .
 ج. ل. وليامس 845/835 .
 ج. ويارت 533/527/521 .
 ج. ويبيل 878/344 .
 ج. أ. ويغر 826 .
 ج. ر. ويلاند 813 .
 ج. ك. ويليس 829/736/110 .
 ج. يوشيمورا 508 .
 ج. يو. يول 110 .
- ج -
- الحجاز 991 .
- خ -
- الخرطوم 190 .
 نخوخلوف 296 .
- د -
- داتيريز 730 .
 داربر 199 .
 دارلنغ 898 .
 دارلينغتون 754/747/746 .
 دارو 863 .
 داروين
 988/843/784/780/760/728 .
 داغر 846/840/549 .
 دافنبورت 749 .
 دالي 933 .
 دافيد 954/854 .
 دافيس 860 .
 دافيسون 500/304 .
 دال 943/941 .
 دالتون 354 .
 دالمير 201/200/117/58 .
 دالتيز 405 .
 داليانيه 676 .
 دامور 506 .
 دانت 871 .
 دانتريغ 138 .
 دانجون 584/576 .
 داندي 853 .
 دانسيرو 829/828/827 .
 دان كوليز 947 .
 دانلوس 362 .
 الدانمارك 729 .
 دانوس 345 .
 داهلن 950 .
 داهم 724 .
 داوود الانطاكي 994 .
 ديبيل 715 .
 دبيران 359 .
 دراجسكو 705 .
 درزويينا 741 .
 درود 282 / 281 / 279 / 272 / 212

دوران رينالس 927/675 .	295 / 314 / 320 / 321 / 350 / 827 .
دوربتر 829 .	دروزوفيل 745 / 746 / 751 / 752 / 753 /
دور دولي 776 .	754 .
دورفان 268 .	دروست 372 .
دورنغ 465/458/265 .	دروف 869 .
دوروب 860 .	دریشك 865 .
دوريو 933/927 .	دریفوس 919 .
دوسترت 134 .	دریكهامر 251 .
دوسون 813 .	درين كورت 554 .
دوشان 321/283 .	دريوه 915 .
دوشوسال 859 .	دلبرات 864 .
دوغان 586 .	دليينو 810 .
دوغلاقس 95/79 .	دلفوس 568 .
دوف 881 .	دلکروا 340 .
دوفاي 282 .	دلسارتي 51 .
دوفريثوا 66/61/59 .	دهن 722 .
دوفور 905/904 .	دوازي 885/458 .
دوفي 678 .	دوان 855/235 .
دونيلى 855/712 .	دوب 101 .
دوفينيوه 888 .	دوبان 92 .
دوكويتز 926 .	دوبتر 926 .
دوكوينغ 947 .	دوبري 525 .
دولا فاليه 49 .	دوبريل 676/641 .
دولاك 71 .	دوبلر 168 / 179 / 180 / 191 / 192 /
دولانج 62 .	627 / 345 / 341 .
دولغوف 920 .	دويلن 927/102 .
دولكر 798 .	دوينا 394/393/392 .
دولند 229 .	دويوا 725 .
دولر 765 .	دويوسك 715/714 .
دولورانس 742/734 .	دويين 749 .
دولون 211 .	دوينيه 950 .
دولونج 282/255/254 .	دوتش 80 .
دوماس 439 .	دوتي 865 .
دوماك 932 .	دود 890/863 .
دومنيل ديرشمونت 948 .	دودز 885 .

- دومولان 95 .
 دونات 877 877 / 890 .
 دونکاستر 723 .
 دونکومب 559 .
 دوننغ 920 .
 دونهام 596 .
 دونوايه 317 .
 دوهلر 298 .
 دوهم 202/75 .
 دورتي 678 .
 دوول 920/764 .
 دوير 784 .
 دوزانسكي 754/753/749 .
 دويود فليمنغ 286/285 .
 دي 367 .
 دي باير 769 .
 دي ريتس 864 .
 دي سانت اغنيئر 898 .
 دي غراز 439 .
 دي فالولا 700 .
 دي فرنشي 94 .
 دي كلافيه 297 .
 دي كلوازو 506 .
 دي لارما 718 .
 دي هاس 261/136 .
 ديا غرام 610 .
 دياموند 940 .
 ديامينو فيفيل 932 .
 ديري لاتور 367 .
 ديبي 410/343/312/311 .
 ديجيرين 906 .
 ديدكر 98 .
 ديدكيند 145/143/46/39/31 .
 ديراك 73 / 88 / 159 / 179 / 239 / 243 .
 253 / 317 / 320 / 321 / 368 / 397 .
 408 / 411 / 413 / 420 / 427 .
 ديريكليه 24 / 35 / 45 / 59 / 61 / 62 .
 80 / 76 / 65 .
 ديزورمو 856 .
 ديزوسكي 886 .
 ديرون 23 / 233 / 420 .
 ديسي 935 .
 ديسور 949 .
 ديفورج 482/481 .
 ديفوليان 948 .
 ديفياتكوف 296 .
 ديكارت 159 .
 ديكس 861 .
 ديكسميه 38 .
 ديكن [ديكون] 143 / 830 .
 ديكلو 861 .
 ديكن غرينسون 751 .
 ديکو مارين 876 .
 ديكومب 188 .
 ديلاج 707 .
 ديلاسوس 248 / 199 .
 ديلر 713 .
 ديلس 829 / 683 / 519 .
 ديلمان 919 .
 ديلندر 631 / 241 .
 ديمارسي 358 .
 ديني برون 860 .
 دينيس 340 .
 دينيك 894 .
 ديود هول 298 .
 ديودنيه 63 .
 د. ي. ارنون 801 / 796 .
 د. ي. اكرلرود 824 .
 د. اندرسن 898 .
 د. آ. م. اوتلي 139 .

- د. اونساجر 434 .
د. ایفانوفکسي 869 .
د. ه. برجی 661 .
د. برنز 127 .
د. و. بروموند 795 .
د. بودیان 908 .
د. ه. بورتون 461 / 113 .
د. بویت 932 .
د. بوئی 874 / 942 .
د. بوهلن 778 .
د. بوهم 163 / 164 .
د. بیچ 917 .
د. بیدولف 807 .
د. بیرونی 778 .
د. ا. جاکسون 949 .
د. جریس 538 .
د. آ. جوهانسن 815 / 832 .
د. دافیدسون 778 .
د. د. و. داليس 126 .
د. و. دامسون 943 .
د. دوبریه 904 .
د. دوغیه 106 .
د. دیدیانت 112 .
د. رایت 700 / 701 .
د. روجرز 126 .
د. روزنبلات 133 .
د. ریتنبرغ 463 .
د. ریشاردس 857 .
د. ا. ریندرس 784 .
د. ساندبرغ 921 .
د. و. ن. ستیسن 590 .
د. ج. سوفان 139 .
د. ه. سکوت 813 / 814 / 832 .
د. ه. سلوان 386 .
د. شالونج 594 / 597 .
د. غابور 122 / 123 / 290 / 503 .
د. آ. غلایزر 403 .
د. غلیک 674 / 706 .
د. فابریوس 588 .
د. ف. فوتار 138 .
د. فوکیه 506 .
د. فیرشاید 821 .
د. فیلیه 521 .
د. ف. کابل 916 .
د. س. کارسون 450 .
د. ش. کامبل 810 / 815 .
د. ج. کنډال 138 .
د. س. کورجنسکی 517 / 521 .
د. کومتر 450 .
د. کولس 316 .
د. د. کیک 823 .
د. کیلن 790 / 791 .
د. ه. لمبر 25 .
د. مالیروف 298 .
د. ی. مک دوغان 823 .
د. مک لولن 593 .
د. ت. مکن 794 .
د. مولر 791 .
د. نورث 290 .
د. م. نیدهام 674 / 1011 .
د. هارتری 298 .
د. هارکر 504 .
د. هریوت 346 .
د. هودکین کروفوت 209 / 365 / 878 .
د. ر. هوغلاند 805 / 806 .
د. م. س. واطسون 765 / 767 / 768 .
د. د. وودز 465 / 799 .
د. ج. ویلر 24 .
- - -
رائزنورن 678 .
رابکین 660 .

رتون 801 .	راي 270 / 318 .
رجيل 331 .	رابينوفيتش 532 .
رسل 240 .	راجا 999 .
رفالي 122 .	رادمتشر 54 .
رفيناك 781 .	رادو 65 .
رندل 801 .	رادوس 95 .
رندنبورغ 840 .	رادوسلاف 866 .
رهبرغ 894 .	رادون 78 / 87 / 359 .
رهلر 805 .	رازونفسكي 134 .
روايه 901 .	راس 890 / 433 / 459 .
روبرت واتسون واط 299 .	راسل 574 .
روبرتسون 209 / 629 / 652 / 752 /	راشييه 852 .
854 .	رافايل 997 .
روبلين 660 .	رام 34 .
روبنس 234 / 805 / 908 .	رامان 242 / 509 / 902 .
روبنسون 865 / 866 / 903 .	رامسي 101 / 118 / 247 / 248 .
روبود 716 / 742 .	راندل 127 / 298 .
روبيك 927 .	راندوان 877 / 878 .
روبين 802 .	رانسون 686 / 900 .
روبيو 661 .	رانغاناثان 135 .
روترز 732 / 733 .	رانكين 201 / 903 .
روتبيرغ 854 .	راو 108 .
روتمباير 764 .	راولت 429 .
روثمن 343 .	راي لانكسر 707 / 905 .
روجرز 717 .	رايت 705 / 749 / 754 .
روجيه 584 .	رايخشتاين 879 / 887 .
رودجرس 332 .	راير 848 .
رودوك 856 .	رايز 37 / 51 / 63 / 76 / 77 / 77 / 79 /
رودفورد 699 / 983 .	80 / 84 / 144 / 966 .
روز 933 .	رايلي 152 / 153 / 225 / 229 / 242 /
روزاتي 94 / 367 / 372 .	243 / 249 / 280 / 295 / 437 / 449 /
روزامستد 101 / 103 / 113 / 963 .	489 / 619 / 621 / 914 .
روزفلت 979 .	راين هورست 837 .
روزن 954 .	ريورغ 651 / 653 / 654 / 656 / 658 .
روزنتال 61 .	رتزيوس 699 .

- فون بيركيه 873 .
 فون توزاغي 203 .
 فون زيبيل 608 .
 فون سترلين 713 .
 فون شترنك 482 .
 فون غراف 954 .
 فون فوشور 756 .
 فون فريش 750/740/662/373/732 .
 فون فوات 899 .
 فون فورتر 127 .
 فون كارمان 254/211 .
 فون كروجر 649 .
 فون لو 355/16 .
 فون ليكتنبرغ 854 .
 فون ميرنك 880 .
 فون ميرس 206 .
 فون نيومان 610 .
 فون هوين 765 .
 فون هيغسي 359 .
 فون وينساکر 587 .
 فونت دي غوم ايزي 781 .
 فونك 877 .
 فياتس 910 .
 فياردت 926 .
 فياي 202 .
 فيتالي 60 .
 فيتر 864 .
 فيتر جيرالد 276/273/169 .
 فيتنام
 1008/1007/1006/1005/1004/960 .
 فيتوفولتيرا 728/142/110/83/37 .
 فيجير 63/51 .
 فيدال 826/895/890/865 .
 فيدز 367 .
 فيدوروف 55/54 .
 فيرهوف 713 .
 فيرو 780 .
 فيرور 935 .
 فيروس 908 .
 فيزر 458/187 .
 فيزو 627/345/244 .
 فيسار 860 .
 فيسنجر 897/864/678 .
 فيشبرغ 753 .
 فيشر ترويش
 853/852/761/754/674/467 .
 فيشي 489 .
 فيشير 650 .
 فيفريالادين 793 .
 فيفر 887/886 .
 فيكتور غرينيار 457/456 .
 فيكوس 510 .
 فيكوس 312/55 .
 فيكيت 63 .
 فيلا 949/947/780/96 .
 فيلات 200 .
 فيلارد 947/354 .
 فيلشنسكي 95 .
 فيلكنسون 943 .
 فيليب 369/368 .
 فيلييس 388 .
 فيليمان 928 .
 فينر 248/247 .
 فينلاي 908 .
 فينمان 420/414 .
 فيننغ 886 .
 فينو غرادوف 143 .
 فين ماینز 538/486/485/482 .
 فينيه 55 .
 فيو 737/715 .

- ف. م. بورنت 917/869 .
 ف. بوش 983/981/980/977/123 .
 ف. و. بویر 834 .
 ف. بیک 519 .
 ف. ن. بیکلیمیتشیف 711/709 .
 ف. بیللیفیش 133 .
 ف. بیتن 309 .
 ف. تریدلنبورغ 700 .
 ف. ترومب 251 .
 ف. ف. تشوکروف 523 .
 ف. توپلر 842 .
 ف. س. تورنر 521 .
 ف. تیسن 842 .
 ف. جاکوب 750 .
 ف. ا. جانسنس 843/816/747/745 .
 ف. جنسبورغ 633/345 .
 ف. ه. جورج 139 .
 ف. جیریکي 805 .
 ف. ن. دافید 113 .
 ف. ک. دوبري 268 .
 ف. ا. دوجیل 713 .
 ف. ف. دوکونشیف 825 .
 ف. دیزون 553 .
 ف. ا. دینی 788 .
 ف. روینس 908 .
 ف. ک. روٹ 23 .
 ف. روفتون 683 .
 ف. رونشی 701/548 .
 ف. زرینگ 353/232 .
 ف. و. زوف 842 .
 ف. مانجر 880/463 .
 ف. ساندیرجر 524 .
 ف. ه. سیدلنغ 452 .
 ف. ج. ستانسی 930 .
 ف. آ. ستیکلوف 969 .
 ئینا 908/907/852/759/439 .
 ف. ا. و. اتوتو 899 .
 ف. ک. آرکادیف 268 .
 ف. و. استون 364 .
 ف. اسکومب 800/798 .
 ف. الدار 457 .
 ف. ا. آلیسون 836 .
 ف. آ. آمبرسونیان 973 .
 ف. امیش 439 .
 ف. آمیتینو 988/779 .
 ف. اوپروتشیف 519 .
 ف. اولتمنس 835 .
 ف. و. اولیفر 813 .
 ف. ایاتیف 457 .
 ف. ایفس 704 .
 ف. ا. پارانوف 801 .
 ف. بالتز 795/722 .
 ف. آ. پانت 459/433/424 .
 ف. ج. بانتن 880 .
 ف. بی 932 .
 ف. براون 301 .
 ف. برتین 306 .
 ف. برنشتین 678 .
 ف. ف. بروتیروس 830 .
 ف. پریرام 509 .
 ف. بریغل 439 .
 ف. برین 373 .
 ف. ه. پلاکیان 841/838/837/797 .
 ف. بلوش 442/322/210 .
 ف. بلوم 936 .
 ف. بلوندل 532 .
 ف. بلیانکین 518 .
 ف. ج. بندیکت 682 .
 ف. س. بودانت 503 .
 ف. بودیه 774/772 .

- ف. ا. كليمتس 825/823 .
 ف. كنوب 808/471 .
 ف. كونتر 843 .
 ف. كوجل 785 .
 ف. كوسلت 305 .
 ف. كوفان 914 .
 ف. كوموت 774 .
 ف. س. كيخ 455 .
 ف. لاغرانج 954 .
 ف. لندن 512/447/428/332/160 .
 ف. لوفشتين 286 .
 ف. لوليوتيه 702 .
 ف. لونسون لينخ 518 .
 ف. لياش 785 .
 ف. ليان 652 .
 ف. ليتل 554 .
 ف. ليديج 690 .
 ف. ليري 700 .
 ف. ليلي 715/697/669/693 .
 ف. آ. ليندلمان 433 .
 ف. إ. لينين 968 .
 ف. مارتن 508 .
 ف. ماشاتشكي 516/506 .
 ف. ب. مالييف 821 .
 ف. مانيه 845 .
 ف. مفس 817/641 .
 ف. مور 840 .
 ف. هاميل 698 .
 ف. هنا 841 .
 ف. س. هنش 887 .
 ف. ج. هويكتر 646/645/469/462 .
 ف. هورسلي 952/906 .
 ف. هوند 447/428 .
 ف. هوهنل 842 .
 ف. هويل 573 .
 ف. سكوغ 785 .
 ف. ه. سمر 139 .
 ف. سوارتز 455 .
 ف. ب. سوتشالا 828 .
 ف. سوتيه 917 .
 ف. ي. سيمرنولي 523 .
 ف. شوت 838 .
 ف. ي. شيدل 815 .
 ف. غالتون 728 .
 ف. غاليوت 199 .
 ف. غانيان 823 .
 ف. غرانجان 501 .
 ف. غروينيان 519 .
 ف. غريغوار 816/812 .
 ف. غوتش 700 .
 ف. ج. غوستافسن 787 .
 ف. آ. غيليانو 735 .
 ف. غيتيه 774 .
 ف. ه. فروست 815 .
 ف. فسكوف 525 .
 ف. ج. فكسلر 392 .
 ف. فوكي 533/518 .
 ف. ف. فيتكفيتش 635 .
 ف. فيردورن 830 .
 ف. فيغل 439 .
 ف. ب. فيلاتوف 973/955 .
 ف. كاجان 512 .
 ف. كاسنل 300 .
 ف. ل. كالم 818 .
 ف. ن. كامرون 522 .
 ف. كانتلي 102 .
 ف. كرومارتن 734 .
 ف. كروت 523/519 .
 ف. ك. كريك 648 .
 ف. و. كلارك 531/524 .

- ف. هيرل 663 .
 ف. و. هيلبراند 513 .
 ف. ب. واصون 822 .
 ف. والبرانت 513/505/502/501 .
 ف. و. وتلي 803/801 .
 ف. و. وت 783 .
 ف. ي. ويلمان 536 .
 ف. ويسكوف 315 .
 ف. ب. ويغلورث 719 .
 ف. ن. ويسون 859 .
 ف. و. ويليامس 126 .
 ف. ويبرلي 112/111/102 .
 كارينشنكو 754 .
 كارل بوش 431 .
 كارل بيرسون 208/115/101 .
 كارل. ج. جانسكي 632/631 .
 كارل فولكرس 878 .
 كارل لودفيغ 894 .
 كارل ويلهلم 962 .
 كارلس 817 .
 كارلسون 288/61 .
 كارلوس خوان فينلاي 987 .
 كارلو شاغاس 987 .
 كارلمان 377/77/51 .
 كارنو 246/245/149 .
 كارنې 708 .
 كارنييه 79 .
 كارو 767 .
 كاريار 999 .
 كاريير 879/458/443 .
 كاريل 870/858/854/660/657 .
 كاريپتر 945 .
 كاريتر 713 .
 كاريوس 439 .
 كازاخوستان 970/969 .
 كازال 268/111 .
 كازالس 869 .
 كازاھارا 907 .
 كازيميرفونك 874/469 .
 كازين 712 .
 كاسپيرسون 746/704/656 .
 كاسترو 829 .
 كاسغرين 233 .
 كامستر 319 .
 كامستلوفو 142/94/93/67 .
 كاشوف 676 .
 كاشيرا 897 .

- ق -

- القاهرة 997 .
 القرم 633 .
 قيسي 838 .

- ك -

- كاب 553/548 .
 كابان 242/62 .
 كابيرا 263 .
 كابيتسا 261/252 .
 كابيرول 730 .
 كابيهاك 948 .
 كاتالونيا 767 .
 كاتر 481 .
 كاتزن 890 .
 كاتود 342 .
 كاتسولي 723 .
 كاتون 859 .
 كاتيودوري 246/67/60/36 .
 كاخال 701/697 .
 كادي 317 .
 كاراكاس 986 .
 كارايكودي 1002 .
 كازاھارا 907 .
 كازيميرفونك 874/469 .
 كازين 712 .
 كاسپيرسون 746/704/656 .
 كاسترو 829 .
 كاسغرين 233 .
 كامستر 319 .
 كامستلوفو 142/94/93/67 .
 كاشوف 676 .
 كاشيرا 897 .

- 465 . کافتو
 کافنديش
 963/633/367/364/279/274 .
 778 . کافون
 67 . کاکشيويولي
 63 . کاکيا
 780 . کالافيراس
 304 . کاليك
 80 . کالديرون
 803/801 . کالڦن
 872 . کالکار
 126 . کالار
 927/926 . کالت
 754 . کالوس
 865 . کالو
 450/395/394/385/270 . کاليمورنيا
 634/594/567/550/544/451 .
 983/824/636 .
 762 . کالين
 898 . کامبي
 332/323/249 . کامرلنڀ اونس
 259 . کامرلين
 801 . کامن
 897/717 . کاميرون
 624 . کانت
 317/173/156/106 . کانٽلي
 145/59/46/27 . کانتور
 1010 . کانتون
 905 . کانتني
 712 . کانو
 131 . کانون
 422 . کانيزارو
 74 . کاهلر
 907 . کاوامورا
 239/142 . کاييلي
 523 . کايير
 866 . کتير
 610/603/544/195 . کبلر
 906 . کراب
 777 . کرايينا
 481 . کراسوفسکي
 777 . کراغس
 740/108 . کرامر
 804/795/794/472 . کريس
 248 . کربوتال
 392 . کرمست
 838 . کرشنر
 36 . کرفير
 443 . کرنر ٿون ماريلون
 606/574 . کروز
 518/436 . کروس
 202 . کروسار
 907 . کروشيه
 650 . کروفٽ هيل
 360/354/150 . کروسس
 143/41/40 . کربول
 777 . کرومانيون
 534 . کرومين
 550 . کرون
 749 . کرونرادت
 31 . کرونڪر
 838 . کريز
 393 . کريسٽوفيلوس
 527/521 . کريسٽوف ميشال ليفي
 947/855/652 . کريستيان
 907/716 . کريشيان
 750 . کريك
 91 . کريونا
 778 . کشمير
 67 . کفيتسکي

کتشین 50 / 101 / 104 / 106 / 111	کل 678 .
116 / 122 .	کلاب 934 .
کندا 953/780/547/539/533/395 .	کلارینیک 915 .
کندال 937/936/887/886/110 .	کلارک 954/710/684/532 .
کندریک 729 .	کلایر 676 .
کندی 251 .	کلائی 299 .
کنغ 942 .	کلای 396 .
کنکستین 865 .	کلایتون 316 .
کنوت 852 .	کلداس 896 .
کنویر 885 .	کلدیچ 46 .
کنیج 235 .	کلن غولد 609/604/342/123 .
کنیغ 496 .	کلکوتا 1002/1001/824/480/293 .
کهن 740 .	کلنر 902 .
کوات 342 .	کلوجفر 798 .
کوارسکی 373 .	کلود برنار 789 / 687 / 685 / 640 / 21 .
کوب 766/133/63 .	912 .
کوبا 985 .	کلوزیوس 314/246/150/149 .
کویال 586 .	کلوفیس فانسانت 953/906 .
کوبالت 948 .	کلونت 919 .
کوبر 892/866 .	کلیس 838/837 .
کوبرنیک 544 .	کلیش 93 .
کوبلنتر 583 .	کلیفیلتر 873 .
کویمان 72 .	کلیجات 921 .
کوین 772 .	کلیر 487 .
کونهایغن	کلیفلاند 113 .
983/945/855/492/384/160 .	کلیانتس 860/826/727/261 .
کویو 897 .	کلیمونوفیش 343 .
کویی 987 .	کلین 366/126/97/96/91/64 .
کوتان 947 .	کلینغ 856 .
کوتزنگ 835 .	کمبریدج 367 / 364 / 274 / 154 / 141 .
کوتس 754 .	395 / 437 / 463 / 465 / 633 / 674 .
کوتلار 866/55 .	878 / 963 / 983 .
کوتون 95/71 .	کمیف 576 .
کوتی 94 .	کمبل ولنیک 941/592/591 .
کوتیرت 786 .	کمبل وود 359/190 .
کوجلیغ 861/860 .	

کوسمول 856 .	کوخ 659 .
کوسمولرجيا 191 .	کودايرا 98 .
کوشت 942 .	کودرنيسف 341 .
کوشر 64 .	کوديل 708 .
کوشيان 712 .	کورانوسکي 143/29 .
کوشن 888 .	کوراسون 716 .
کوشي 45/53/55/67/69/70/73/74/76/79/80/105 .	کوران 65/77/79/393 .
کوغل 785 .	کوربد 649 .
کوف 553 .	کوررت غودل 126/27 .
کورفالفسکاپا 766/73 .	کوررتيس 920 .
کورفان 915/750/274 .	کوررتیکو 887 .
کوفيه 769 .	کوررد 933 .
کوک 874 .	کورردوبا 986 .
کوکروفت 385/370/366 .	کوررذليوغلو 296/116 .
کوکس ساکي 927/908/869/612 .	کوررشانوف 375/252 .
کولا 680 .	کوررشالت 720 .
کولارغول 853 .	کوررغانوف 605 .
کولاسيفيتش 232 .	کوررليس 713 .
کولباک 121 .	کوررنر 886 .
کولت بک 993 .	کوررغولر 860 .
کولروتر 843 .	کوررې 699/340 .
کولشن 73 .	کورروليف 134 .
کولمان 546/345/204 .	کوررې 881 .
کولوغوروف 104/101/98/51/29 .	کورريا 976 .
کولوم 122/120/117/116/110/106 .	کورريز 776 .
کولن 201/143 .	کورريه 886/885/884/882 .
کولن 125 .	کوزار 933 .
کولنغ 610/335 .	کوزولوف 970 .
کولهورستر 396 .	کوزون 67/66/43/36 .
کولومب 256/252/195/186/149 .	کوستاريکا 710 .
کولومبيا 365/363/343/339/338/333 .	کوستنير 874 .
کولومبيا 982/981/406/395/373 .	کوسل 458/238 .
کولومنسکي 988/985/983 .	کوسلر 63 .
کولومنسکي 341 .	کوسموترون 394/393 .

- ڪولي 895/853 .
 ڪوليڊ 885/883 .
 ڪوليڊج 355 .
 ڪوليري 716/711 .
 ڪوليز 949/854 .
 ڪوليس 892 .
 ڪومارين 876 .
 ڪومباريل 781 .
 ڪومبٽون 983/981/980/979/235 .
 ڪومير 950 .
 ڪومر 94 .
 ڪومرل 67 .
 ڪومس 890 .
 ڪومونر 784 .
 ڪوميساني 94 .
 ڪون 865 .
 ڪونٽ 916 .
 ڪونٽي 71 .
 ڪونڊون 366/365 .
 ڪونٽرا 808 .
 ڪونٽراڊشلولومبرجر 530 .
 ڪونسلي 926 .
 ڪونسٽان 759 .
 ڪونسي 916 .
 الڪونغو 778 .
 ڪونفرسي 401 .
 ڪونفورنو 94 .
 ڪونٽڪلين 863/725/724 .
 ڪونور 1002/897 .
 ڪونيغس 65/61 .
 ڪوهلر 864 .
 ڪوهن 41/751/862/875/877 .
 ڪوهن 944/941/927/926/904/878 .
 ڪوپر 334/333/192/138 .
 ڪوپڪ 864/863 .
 ڪوي لي 1005 .
 ڪوينو 748/747/743/714 .
 ڪيٽهاهن 612 .
 ڪيٽامانو 926 .
 ڪيٽ پڪ 684/548 .
 ڪيٽو 985 .
 ڪيٽون 897 .
 ڪيڊو 713 .
 ڪيري 715 .
 ڪيرجنيريا 970/969 .
 ڪيرميتزي 877 .
 ڪيرشهوف
 604/305/288/237/200/152 .
 ڪيرڪهام 748 .
 ڪيرڪوڊ 337 .
 ڪيرڪيارنو 98/66 .
 ڪيزيموٽو 741 .
 ڪيسٽر 67 .
 ڪيسٽون 948 .
 ڪيسون 332/249 .
 ڪيفلانڊ 715 .
 ڪيڪ 824 .
 ڪي ڪولي 446/422 .
 ڪيلن 654 .
 ڪيلنخ 93 .
 ڪيلوڱ 705 .
 ڪيلي ڪيٽ 856/855 .
 ڪينس 101 .
 ڪينلي 291/288 .
 ڪينواي 919 .
 ڪ. آرامبورغ 778/777/776 .
 ڪ. ا. آلن 845 .
 ڪ. آليس 307 .
 ڪ. آميغينو 988 .
 ڪ. ر. انگلنڊ 288 .

- ك. ايكونومو 699 .
 ك. برانتل 824 .
 ك. ف. براي 700 .
 ك. بروخمان 669 .
 ك. بريدج 982/843/745/743 .
 ك. د. برين 566 .
 ك. بوستوموس 298 .
 ك. بلودج 285 .
 ك. بوتشر 315 .
 ك. ر. بورتر 818 .
 ك. آ. بوروس 329 .
 ك. بوفي 797 .
 ك. و. بون 920/504 .
 ك. هـ. بوهم 612 .
 ك. بيت 698 .
 ك. بيركلاند 563 .
 ك. ب. بريكه 904/874 .
 ك. بيررا 853 .
 ك. أ. بيسي 834 .
 ك. بيكلير 854 .
 ك. بيكلير 854 .
 ك. تروسل 203 .
 ك. ن. تروبلود 878 .
 ك. تشايلد 278 .
 ك. تونس 318 .
 ك. تونيوف 558 .
 ك. نيكسيرا 767 .
 ك. ف. تيمان 784/785 .
 ك. جاسبرس 910 .
 ك. جاكسون 903 .
 ك. أ. جوهانسون 711 .
 ك. دافيسون 306 .
 ك. د. دالنتون 816 .
 ك. دجيرامي 440 .
 ك. ب. دولنتون 843 .
 ك. ر. دريشلر 843 .
 ك. دوايدوف 725 .
 ك. ج. دوغلاس 683 .
 ك. دولتر 514 .
 ك. دي شازو 768 .
 ك. رافن 724 .
 ك. ف. رامان 1002 .
 ك. رانكلما 532/524 .
 ك. رايش 988/987 .
 ك. ل. رايد 813 .
 ك. روبرتسون 834 .
 ك. رونيكار 826 .
 ك. سبانجنريغ 504 .
 ك. سبرنجل 843 .
 ك. ستانلي جونس 594/131 .
 ك. ستريت حونيور 451 .
 ك. س. ستولبرغ 916 .
 ك. سكونسيغ 834 .
 ك. ميندر 977 .
 ك. ك. سوارتز 516 .
 ك. سورنسن 826 .
 ك. سوفاجو 845 .
 ك. سيغياهن 376 .
 ك. شافير 276 .
 ك. أ. شانون 114/116/120/121/123 .
 ك. م. شايلد 726/673 .
 ك. شروتر 825 .
 ك. شلوساكر 507 .
 ك. شميرلين 833 .
 ك. ج. ف. شميتز 835/839/844 .
 ك. شوارزشيلد 548/559/561/578 .
 ك. و. طومبوغ 566 .
 ك. غودفروا 507/505 .
 ك. ي. غويه 276 .

- ك. ب. فان نيل 798 / 799 .
 ك. ل. فرانكلين 634 .
 ك. فرت 306 .
 ك. س. فرتش 800 .
 ك. فرويدنبرغ 452 / 460 .
 ك. فروغطين 881 .
 ك. أ. فون باير 670 .
 ك. أ. ر. فون غوپل 809 .
 ك. فون فريش 843 .
 ك. فون ويزساكر 658 .
 ك. فيرودت 677 .
 ك. فيليس 414 .
 ك. كرافورد 892 / 950 .
 ك. كريستسن 832 / 915 .
 ك. ب. كلوزن 716 / 754 .
 ك. كوديرا 1015 .
 ك. كوراي 648 / 655 / 872 .
 ك. كورنبرغ 646 .
 ك. كورنس 743 / 744 .
 ك. أ. كوفيد 838 .
 ك. كونراي 645 .
 ك. كپسلن 645 .
 ك. كيلن 646 / 723 .
 ك. لندستروم لانغ 674 .
 ك. لندشتينر 677 .
 ك. لويي 912 .
 ك. لورنز 705 / 738 .
 ك. لوندمارك 600 .
 ك. لونغ 880 .
 ك. لوهان 652 / 793 .
 ك. م. لويس 800 .
 ك. ب. ليبان 805 .
 ك. ليمس 828 .
 ك. ك. ليندينبرين 839 .
 ك. مازر 745 / 843 .
 ك. ر. ماكنتري 450 .
 ك. مالاسيز 677 .
 ك. أ. ملك كلونغ 693 .
 ك. مك. لويس 432 .
 ك. ر. ميتكالف 815 .
 ك. أندروس 841 .
 ك. نواك 800 .
 ك. نيوبيرغ 794 .
 ك. أ. هاربر 136 .
 ك. ك. هامنر 786 / 805 .
 ك. هانف 862 .
 ك. هرتر 737 .
 ك. هرمان 501 .
 ك. ر. هنري لوغان 466 .
 ك. ن. هنتلورد 433 .
 ك. س. هودسون 460 / 462 .
 ك. هومر 854 .
 ك. هوفمان 883 .
 ك. هيدر 725 .
 ك. هيانس 683 / 684 .
 ك. ه. وادينغتون 674 .
 ك. و. واردلو 815 .
 ك. ه. وركيان 799 .
 ك. ورنغتون 805 .
 ك. ل. وليامس 897 .
 ك. ج. ونغسترن 710 .
 ك. ف. وولف 670 .
 ك. ج. يونغ 910 .

- ل -

- لايتف 972 .
 لابلاس 77 / 79 / 80 / 89 / 95 / 96
 102 / 104 / 105 / 107 / 108 / 116
 117 / 118 / 289 / 305 / 352 / 611
 623 / 624 .

لابونيا 478 .	لاندوير 748 .
لاين 927 .	لاندي 238 / 241 .
لاتارجت 753 .	لانفيلد 892 .
لاتاست 899 .	لانسغ 780 / 908 .
لاتريي 708 .	لانغ 216 / 743 .
لاتيس 61 / 65 / 394 / 401 / 858 .	لانفلي 550 .
لارك هورويتز 326 / 799 .	لانلونغ 1008 .
لارمور 257 / 270 / 295 .	لانيك 850 .
لازرغازي 346 .	لاهاي 614 .
لاس 945 .	لاينيك 901 / 903 .
لاشينسكي 345 .	لبنان 991 .
لاغرانج 31 / 84 / 197 / 558 .	لسباك 452 .
لافالي بواسون 78 .	لسر 605 / 610 / 612 .
لافرنتييف 29 / 66 / 200 .	لسترات 901 .
لافرني 714 .	لسترانج 942 .
لافس 209 .	لفودري 764 .
لافوازييه 640 .	لكينيوك 855 .
لاك 713 .	لند 431 .
لاكاسانيه 858 / 919 .	لندبلاد 605 .
لاكروا 676 .	لندسلي 860 .
لاكرو 1002 .	لندجرين 522 / 584 .
لاكور 492 .	لندكيست 336 .
لاكينا 776 .	لندن 101 / 123 / 137 / 264 / 332 .
لاليناند 580 .	لند 523 / 735 / 772 / 911 / 912 / 948 .
لامارك 759 / 948 .	لند 978 / 1001 / 1011 .
لامب 317 .	لندهال 725 .
لامبرت 870 .	لنشتر 201 .
لامير 713 / 716 / 901 .	لنك 876 .
لامرتون 949 .	لنيقي 927 .
لاموت 754 .	لهابلودي 752 .
لان 545 / 546 .	لهنرت 336 .
لانجفين 279 / 313 .	لو 61 / 65 / 497 .
لاندشيتز 649 / 678 / 874 / 889 / 890 .	لوياتشفسكي 972 .
لاندر 939 / 908 .	لوياتير 935 .
	لوبرنس رنغيه 367 / 404 .

- لوپريور 730 .
 لوپل 460 .
 لوپودي كارفالوا 892 .
 لوپوشنر 852 / 953 .
 لويك 926 .
 لويين 647 .
 لوثر 635 .
 لوتسي 832 .
 لوتيت 890 .
 لوئار ماير 422 / 511 .
 لوئيران 678 .
 لوجون 756 .
 لودج 292 / 295 .
 لودرس 417 .
 لودفورد 660 .
 لودونتك 759 .
 لودويغ 746 .
 لوران 61 / 774 .
 لورانس 393 / 937 / 948 .
 لوراي 81 / 88 / 312 .
 لورد 898 .
 لورنتز 249 / 276 / 277 / 282 / 722 / 741 .
 لورتودي لوفي 699 .
 لوريتس 385 .
 لوز 897 .
 لوزورن 118 .
 لوس آلاموس 981 .
 لوس انجلوس 547 / 780 .
 لومست 612 .
 لوسيان 902 .
 لوش 61 .
 لوشميدت 247 .
 لوشوفاليه 930 .
 لوغارشم 56 / 58 / 105 .
 لوفر 662 .
 لوفريه 112 / 187 / 559 .
 لوفينر 860 / 861 .
 لوفلاند 140 .
 لوفلر 869 .
 لوفن 348 .
 لوفه 105 / 489 / 713 .
 لوك 717 / 921 .
 لوكاشيفيتش 519 .
 لوكر 545 .
 لولونغ 67 .
 لومان 54 .
 لومانيك 927 .
 لومير 895 .
 لوميس 860 .
 لونجيه 701 .
 لونديفارد 791 .
 لونغ 885 .
 لونيجر 857 / 894 .
 لووي 80 / 698 / 699 .
 لوپ 883 .
 لويزيل 342 .
 لويس 458 / 459 / 763 / 941 .
 لويس دي بروجلي 16 / 172 / 236 / 239 / 304 / 305 / 306 / 409 / 410 / 411 .
 427 .
 لويس نيل 265 / 266 .
 لويسين 939 .
 لوپتير 855 .
 لي 30 / 33 / 35 / 37 / 38 / 42 / 43 / 44 .
 72 / 73 / 74 / 81 / 89 / 93 / 96 / 882 .
 883 .
 ليابونوف 71 / 104 / 105 / 558 .
 ليبرسون 860 .
 ليزيغ 87 / 962 .

ليشيتين 950 .	ليشيتير 69 .
ليغريه 927 .	لييل 446 .
ليقاديتي 908 / 917 / 926 .	لييلوند 884 .
ليفانوف 131 .	ليپان 234 / 305 / 654 .
ليني 864 / 940 .	ليپيا 991 .
ليني سيفيتا 67 / 75 / 80 / 96 / 97 / 142 /	لييڊف 236 .
200 / 172 .	لييريا 540 .
ليفشيتير 33 / 40 / 71 / 93 / 94 / 98 /	لييغ 650 .
268 .	ليييز 117 / 123 .
ليني كراموه 10 / 106 / 110 .	ليتانفن 917 .
ليفين 336 / 645 / 646 / 678 / 716 /	ليتس 660 .
935 / 890 / 880 / 775 .	ليتل 751 / 904 .
ليك 598 / 776 .	ليتلود 25 / 142 .
ليكنشتاين 880 .	ليتونيا 970 .
ليلهي 951 / 952 .	ليجنر 24 .
ليلونغ 898 .	ليجه 714 / 732 / 733 / 899 .
ليا 985 / 988 .	ليڊ 250 / 251 / 259 / 431 / 633 /
لينار 273 / 341 .	897 .
ليندغرين 854 .	لي دي فورست 286 .
ليندمان 254 / 855 / 948 .	ليدبرغ 751 .
ليندو 906 .	ليڊلو 941 .
لينلي 949 .	ليڊوليارد 610 / 740 / 852 .
لينغراد	ليڊيغ 884 .
974 / 970 / 969 / 824 / 821 / 754 .	ليرتيه 404 / 751 / 754 .
لينوس بولنغ 209 / 428 / 448 / 498 /	ليروا 753 .
516 / 513 .	ليريش 676 .
لينوكس 907 .	ليريك 851 / 860 .
ليني 604 / 822 / 831 / 833 / 834 .	ليزمتير 172 / 358 / 365 / 369 / 370 /
لينيك 24 / 26 .	414 / 373 / 372 .
ليوت 563 .	ليزون 706 / 858 .
ليوفيل 77 / 337 .	ليسٽر 469 .
ليونارد دي فنشي 21 / 169 / 180 / 276 .	ليسلي 927 .
ليون بريلوين 81 / 122 / 249 / 264 /	ليسنكو 760 .
908 / 456 / 323 / 298 / 297 / 295 .	لي سوا-كوانغ 1012 .
ليون فوڪولت 229 .	ليشترفيتش 98 .

- ل. روييه 505/502 .
 ل. روزيكا 463 .
 ل. زكميروا 966 .
 ل. زيلارد 981/966/121 .
 ل. زعيمان 512 .
 ل. ي. سكوت 812 .
 ل. ا. سميت 458 .
 ل. شاپري 671 .
 ل. شالك 815 .
 ل. شوارتزفيلد 604/289 .
 ل. غلانيو 543/533/520 .
 ل. غلندينين 449 .
 ل. غودو 67 .
 ل. غينارد 815 .
 ل. فرمور 524 .
 ل. فرنالد 829 .
 ل. فروند 946 .
 ل. فلوري 304 .
 ل. فولشوك 507 .
 ل. فون بوست 814 .
 ل. فياليتون 759 .
 ل. فيغار 506 .
 ل. كابدنيكوم 508 .
 ل. كاهلنبرغ 433 .
 ل. كايو 534/523 .
 ل. كروازات 829 .
 ل. كريتمان 732 .
 ل. كليريكيور 314 .
 ل. كوارسكي 504 .
 ل. كوتورماتيو 510 .
 ل. كور 914 .
 ل. كوش 811 .
 ل. كوفيغنال 124 .
 ل. كولب 507 .
 ل. و. كوليت 732 .
 ليونتييف 62 .
 ليونس 874/859/747 .
 لينارد 274/71 .
 لييل 780 .
 ل. امبرجر 835/834/828/535 .
 ل. ايوتفوس 482 .
 ل. باستور 503 .
 ل. بالوت 779 .
 ل. براغ 761/513 .
 ل. براون 684 .
 ل. برمان 592 .
 ل. برنار 904 .
 ل. ي. بريفس 806 .
 ل. بريك 508 .
 ل. بلايغول 817/812/811 .
 ل. بنسون 835 .
 ل. بوفولت 457 .
 ل. بولزمان 121 .
 ل. س. بوترياغين 973 .
 ل. بونور 759 .
 ل. بيانكي 92 .
 ل. تروپ 815 .
 ل. تورس كيغيلو 126 .
 ل. توتكس 309/308 .
 ل. ه. جرمر 306/158 .
 ل. جولود 539 .
 ل. جيتلر 836 .
 ل. د. ه. دوناي 532/531/504 .
 ل. ن. دويسانس 800 .
 ل. دي جين 854 .
 ل. دي لاموت 773 .
 ل. دي لوني 522 .
 ل. ديسرت 912 .
 ل. ديلس 825 .
 ل. رابن هورست 840 .

مارتلاتا 919 .	ل. كوينه 760/709 .
مارتنس 834 .	ل. لايك 699/697 .
مارني 774/63/60/56/53 .	ل. د. لاندو 973/266 .
مارتينوف 713 .	ل. لكونت 510 .
مارتينيلي 55 .	ل. ب. لوب 685/308/307 .
مارسدن 363 .	ل. ك. لوكيل 788 .
مارسلين بريلون 429 .	ل. لونشميون 507 .
مارسلين بول 772 / 771 / 766 / 764 .	ل. لوهان 712/646 .
776 .	ل. مارتن 915 .
مارش 766 .	ل. مارتون 306 .
مارشال 885/724/716 .	ل. ك. مارك 934 .
مارشان 897 .	ل. مالتز 303 .
مارشوه 933/926/99 .	ل. مللار 305 .
مارشيانا 890 .	ل. ب. مندل 876/875/470 .
مارغوليس 681 .	ل. منصو 917 .
مارك 948 .	ل. مورت 539 .
ماركس 63 .	ل. ميخايليس 650 .
ماركس 943 .	ل. هرزيلد 678 .
ماركوف 110/109/104 .	ل. هيتشوك 138 .
ماركوتي 292/291/287/286 .	ل. هين 228 .
ماري 823 .	ل. وبرايت 123 .
ماري بافلوف 766 .	
ماري شورب 879/878 .	
ماري كروس 946 .	
ماري كوري 359 / 358 / 357 / 162 .	
851 .	
ماريا غويرت 382 .	ماتوسي 858 .
ماريان 896/885 .	ماتياس 333 .
ماريسون 317 .	ماتيويسي 1013 .
مارين 936 .	ماتيرس 859 .
مارينس 131 .	ماتيفات 894 .
ماريني 948 .	ماجاندي 701 .
مازور كيفيتز 37/29 .	ماجيو 955 .
مازون 887/532 .	ماذر 746 .
ماس 209 .	مارتن 444 .
	مارتان 914/61 .

- م -

- ماسا شومس 137 .
 ماستودولت 780 .
 ماسلاند 861 .
 ماسيوت 855 .
 ماسيفيتش 610 .
 ماسيوين 906 .
 ماش 863 .
 ماشييف 862/649 .
 ماغات 880 .
 ماغلاديري 860 .
 ماغنوس 864 .
 ماغون 686 .
 ماك برايد 725 .
 ماك دوغان 738 .
 ماك فارلان 755/680 .
 ماك كالوم 897/125 .
 ماك كولوش 895/133 .
 ماك ملقي 897 .
 ماكس بلانك 156 / 155 / 154 / 153 / 152 / 161 / 172 / 234 / 238 / 261 / 410 / 962 .
 ماكس بورن 254 / 245 / 170 / 161 / 387 / 411 / 428 / 448 / 510 / 511 .
 ماكس فون ليو 441 / 235 / 207 / 172 / 496 .
 ماكس هـ. هاي 526 .
 ماكسوتوف 232 .
 ماكسويل 168 / 156 / 153 / 150 / 149 / 170 / 171 / 177 / 186 / 187 / 234 / 243 / 250 / 258 / 272 / 276 / 277 / 280 / 293 / 295 / 321 / 332 / 341 / 352 / 353 .
 ماكيا 96 .
 ماكلاغن 863 .
 ماكليين 33 .
 ماکتوس 879/865 .
 ماکتزي 139 .
 ماکنفوس 907 .
 ماکي 122/38 .
 مالار 515/502 .
 ماليجي 903 .
 مالت 948 .
 مالغرانج 81 .
 مالكويس 71/69 .
 مالوري 897 .
 ماليزيا 824 .
 ماليكوت 754 .
 ماندليف اللوري 406/324/244 .
 مان سميت 919/880/244 .
 مانسو 927 .
 مانلي 329 .
 مانورنغ 941 .
 مانويل 713 .
 ماهون 905 .
 ماوتتر 38 .
 ملي اندياكر 465 .
 مايربرغ 149/65/64 .
 مايرس 953/948 .
 مايرهوف 794/793/683 .
 مايرود 741 .
 مايوركا 733 .
 ماينورد 949/948/947 .
 محمد بن عمر التونسي 993 .
 محمد علي 997/994/993 .
 المحيط الباسيفيكي 529 .
 المحيط الهندي 494 .
 مدغشقر 819/768/767/710 .
 مديوتي 737 .
 مرتون 233 .
 مرسال دبرز 348/347 .

مرسين 25 .	منزل 606 .
مرغريت بيرى 450 .	منزىس 710 .
مركاريان 610 .	منشستر 404 .
مركانتون 732 .	منشين 713 .
مركولت 738 .	منفوليا 767/766 .
مريلى 823 .	موايال 112 .
مسترانك 912 .	موباس 714 .
مس هيل 712 .	موربرويس 745 .
مصر 997/994/993/992/991/765 .	مويوس 56 .
المغرب 991 .	موتاس 733 .
مغرين 612/610/605 .	موتز 824/345 .
مغ نادساها 570/284 .	موجل 564 .
مغنوس لينى 884 .	مور 950/940/904/696/28 .
مفس 721 .	موراليس 853 .
مك آرثور 756 .	موران 890 .
مك ائتايير 864 .	موراويتز 680 .
مك روين 857 .	موراي 875/751 .
مك غينس 927 .	مورتنس 727 .
مك كارتى 856/753 .	مورتون 948/921 .
مك كلونق 744 .	موريتانيا 779 .
مك كيسون 949 .	مورتيمر 722 .
مك كيلار 596 .	مورس 677/610/324 .
مك ليود 753 .	مورغان 746/745/723/715/672 .
مك مون 791 .	746/747/842 .
المكسيك 988/987 .	مورفي 370 .
مكسيكو 988/986/985 .	مورلات 117 .
ملبورن 780 .	موريس كوري 508/424 .
ملتزير 874 .	موريس لبلان 348 .
ملنيك 908 .	موريس 875 .
منتشوف 54/51 .	موروزي 860/686 .
متوكس 904 .	موريل 744/683 .
منادل 843/776/755/749/743 .	موريه 105 .
881/982 .	موزلي 449/355/244/238/16 .
مندلييف 524/426/422/330/16 .	موساور 195/194/193 .
مندنهول 482 .	مومبور 378 .

- موسٲٲه 776 .
 موسكو 633 / 523 / 401 / 394 / 113 .
 موسٲٲ 1011 / 971 / 969 .
 موسٲٲ 314 / 279 .
 موٲات 921 .
 مولغ 605 .
 مولدافيا 970 .
 مولسر 369 / 368 / 367 / 360 / 296 .
 مولسر 915 / 749 / 576 / 462 / 403 / 377 .
 مولرٲز 934 / 927 .
 مولسو 680 .
 مولسو 744 .
 مولك 66 .
 مولٲن 290 .
 مون 988 .
 مونٲومري 38 .
 مونٲ كارلو 107 / 106 .
 مونٲل 143 / 99 / 77 / 7b .
 مونٲريغ 754 .
 مونج 92 .
 مونروا 725 / 724 .
 مونستر 357 .
 مونشله 855 .
 مونود 751 / 750 .
 مونٲ 724 .
 مونٲه 942 / 904 / 856 / 92 .
 موهل 817 .
 موهوروٲٲش 529 / 489 .
 موير 789 .
 مويس 846 .
 مي 196 .
 مياشٲٲا 717 .
 مٲٲاغ لٲفلير 51 .
 مٲٲلرلٲغ 502 .
 مٲٲلرلٲغ 694 / 676 .
 مٲٲلورنسك 970 .
 مٲٲنغ 897 .
 مٲراندٲا 60 .
 مٲراي 73 / 53 / 38 .
 مٲرٲسكي 642 .
 مٲسم 300 .
 مٲسٲر 332 / 287 .
 مٲشال سوملن 29 .
 مٲشال سوٲٲ 443 .
 مٲشال لٲفي 533 / 520 / 518 .
 مٲشر 943 / 935 .
 مٲشلسون 16 .
 مٲغاو 300 .
 مٲغوسار 718 .
 مٲكايٲلس 751 .
 مٲكلسون 236 / 169 .
 مٲكودٲٲاي 864 .
 مٲلانو 965 / 745 / 482 .
 مٲلله 717 / 670 .
 مٲلن 611 / 609 / 606 / 605 .
 مٲلنرو 311 / 118 / 37 / 36 .
 مٲلوت 491 .
 مٲلٲز 865 .
 مٲلٲكان 853 / 396 / 322 / 284 / 235 .
 مٲان 244 .
 مٲنسكي 140 .
 مٲنكوسكي 890 / 880 / 183 / 40 .
 مٲنورد 855 / 608 .
 مٲنورسكي 71 .
 مٲنون 404 .
 مٲنسونٲا 780 .
 مٲنٲل 716 .
 مٲنٲو 64 .
 مٲهوك 574 / 102 .
 مٲونغ 962 / 800 / 496 / 348 / 171 .

- م. ميبوه 895/60 .
 م. آرون 696 .
 م. اسكانسي 881 .
 م. آليان 779 .
 م. بايار 288 .
 م. ج. برجر 513/505 .
 م. ه. برلين 334 .
 م. ب. بيروت 801 .
 م. بروغلي 501/367 .
 م. برولو 78 .
 م. بلوش 594 .
 م. نبس 121 .
 م. بودنشتاين 433 .
 م. بوروس 658 .
 م. آ. بوپ 892 .
 م. بونتي 299 .
 م. ف. بيروتر 677 .
 م. بيهرنس 818 .
 م. تسيوت 799 .
 م. توب 135 .
 م. ف. تويورغ 814 .
 م. آ. تونيلا 378/187 .
 م. تيلر 927 .
 م. جافيليه 805 .
 م. دافيس 875 .
 م. دودوروف 794 .
 م. راندا 796/430 .
 م. رايت 25 .
 م. روا 200 .
 م. روبنر 899/682 .
 م. رويولت 538/520 .
 م. روز 302 .
 م. روك 534 .
 م. روكنس 519 .
 م. ريس 846 .
 م. ريل 636/635/633 .
 م. ش. ستويس 524 .
 م. متيجر 936 .
 م. سنو 811 .
 م. سوپوتين 558 .
 م. سورامو 773 .
 م. سورديل 954 .
 م. سوندارا 999 .
 م. سويك 895 .
 م. سينياهن 498 .
 م. ج. سيكس 832 .
 م. سيمونت 816 .
 م. شاديفو 840/839/837/836/834 .
 842 .
 م. شفرمونت 642 .
 م. شلويس 765 .
 م. آ. ج. شندلر 813 .
 م. شوارتز شيلد 610/573 .
 م. غروير 694 .
 م. غوليه 873 .
 م. آ. غودن 511 .
 م. غولد سميت 669 .
 م. غومبرغ 459/433 .
 م. غيرين 920/919 .
 م. غيشار 514 .
 م. ه. ج. فريد لانتر 668 .
 م. فرمان 917 .
 م. فلوركين 758 .
 م. فوستر 701 .
 م. فولر 504 .
 م. فون آردين 306 .
 م. فون پنيكي 799 .
 م. فيلشر 830 .
 م. كاراش 459 .
 م. آ. كارلتون 841 .

- م. كالفن 804 .
 م. د. كامن 796 .
 م. كروتون 140 .
 م. كروزافون بيرو 767 .
 م. س. كريشنان 1002 .
 م. ف. كلديش 972 .
 م. كلين 912 .
 م. كنول 305 .
 م. كوردريو 723 .
 م. كورنو 842 .
 م. كورتيز 650 .
 م. لاي 867 .
 م. لافينور 633 .
 م. لانجيفان 424 .
 م. لوسادا 803 .
 م. لولونغ 917/904 .
 م. لوي 568 .
 م. م. لينينغستون 393/385 .
 م. ماسترمان 136 .
 م. ماکارتي 913 .
 م. مكلويل 894 .
 م. ن. مكلرلان 916 .
 م. ماک کون 778 .
 م. ل. مانتن 650 .
 م. ج. ماير 376 / 382 / 699 / 713
 م. 732 / 761 / 872 / 932 / 935 .
 م. مايار 645 .
 م. مسير 304 .
 م. موتو 646 .
 م. موريس 144/135/43 .
 م. ميد 910 .
 م. ميلانكوفيتش 772 .
 م. مير 645 .
 م. نوفيل 778 .
 م. نيکول 874 .

- ن -

- م. ناييه 716 .
 م. ناتانسان 934 .
 م. ناش 895/865 .
 م. ناغاتا 41 .
 م. ناغازاكي 1015/374 .
 م. ناغلوکا 291 .
 م. ناكان جيکي 1015 .
 م. ناکاياما 40 .
 م. ناکن 1010/180 .
 م. نالي 932/870 .
 م. ناني 635/634/633/456 .
 م. نانفلدت 842 .
 م. ناني 715 .
 م. نايف 712 .
 م. نجني نوفغورود 969 .
 م. ندرماير 414 .
 م. نرنست 321/312/254 .
 م. النروج 872/373/102 .
 م. نسلر 439 .
 م. نسمجانوف 134 .
 م. نصير الدين الطوسي 992 .
 م. نغوين ترونغ 1005 .

- نغوين فان تنه 1007 .
 نغوين فوك بوهر 1007 .
 نلز 856 .
 نلسون 865 .
 النمسا
 980/967/828/781/771/366/358
 نوا 855 .
 نواري 855 .
 نويل 1014 .
 نوتال 723 .
 نوذر 92/73/40/32/31 .
 نوربرت فيئر 78/101/110/119/120/
 122/123/128/129 .
 نورتون 291 .
 نوردمان 631 .
 نوردهيم 323/322 .
 نورمان لوکير 608 .
 نوزيار 343 .
 نوفبرسييرسك 970 .
 نوڤيكوف 902/145 .
 نولان 948 .
 نون 874 .
 نيڤو 867 .
 نييکو 302 .
 نيچيلين 800/795 .
 نيدبرنك 949 .
 نيدلسكي 369 .
 نيريس 669 .
 نيسن 741/291 .
 نيڤيجيا 406/405 .
 نيشينا 366 .
 نيخون 722 .
 نيڤانلينا 66/63/59/58 .
 نيڤي 897 .
 نيڤولوير 716 .
 نيكل 935 .
 نيکوديم 85/29 .
 نيکول 576 .
 نيکولاتسلا 969/662/287 .
 نيکولا لوزين 973/51/49/46/29 .
 نيکولس 345/339/294/236/234 .
 نيکولسون 728/583/551 .
 نيکيست 120 .
 نيل 755 .
 نيلس بوهر 160/157/156/155/154/
 161/171/173/238/244/259/
 261/262/263/267/269/284/
 363/372/373/379/389/410/
 426/427/450/966 .
 نيلسون 890 .
 نيپان 901/785/108/101 .
 نيمنسكي 859 .
 نيهر 887 .
 نيويرغ 794 .
 نيويجين 736 .
 نيرون 185/184/172/167/16/
 186/187/191/195/630/631 .
 نيوجيرسي 878 .
 نيودلھي 1002 .
 نيوزيلند 831/824/589 .
 نيوکومب 978/560/559/552/187 .
 نيول 140 .
 نيومارک 38 .
 نيومان 756/672/77 .
 نيومکسيکو 780/562/529 .
 نيوهاڻن 911/776 .
 نيويرک 732/731/395/134/118/
 757/772/824/852/853/857 .

- ن. ك. آدام 437 .
 ن. آرلي 110 .
 ن. الكسيريف 298 .
 ن. أليوت 126 .
 ن. انتنر 794 .
 ن. د. بابالكسي 972 .
 ن. بافلوف 552 .
 ن. بجيروم 439 .
 ن. ج. برونك 878 .
 ن. بلومبرجن 319/316 .
 ن. بورياكي 146 .
 ن. بوغوليوفوف 973 .
 ن. بولونين 829 .
 ن. ل. بوين 526/520 .
 ن. أ. جوكوفسكي 201/200 .
 ن. ف. ف. رامسي 318 .
 ن. د. زيلنسكي 973 .
 ن. ستويكو 557 .
 ن. سفيديلوس 845 .
 ن. سن 946 .
 ن. ف. سيلويغ 512 .
 ن. ب. سيمينكو 521 .
 ن. م. سيمينوف 973/433 .
 ن. شولودي 784 .
 ن. غريغوريف 517 .
 ن. أ. فافيلوف 917/821/820 .
 ن. كابيرا 506 .
 ن. س. كوناكوف 973 .
 ن. آ. كوزيرف 569 .
 ن. كيان 1009 .
 ن. لبلان 503 .
 ن. ملك اليسترغريغ 916 .
 ن. ف. موت 365/325 .
 ن. ي. موسكيليشفيلي 973 .
 ن. هالستروم 718 .

- ه -

- هاباشي 907 .
 هابان 298 .
 هابر لاندت 783 .
 هابل 915 .
 هاجيدورن 880 .
 هادورن 748 .
 هار 95/38/37 .
 هارتي فوك 378 .
 هارتلي 120/121/123/240/330/
 340/339/331 .
 هارتمان 886/722/596/504 .
 هارتوغس 67/61 .
 هارترت 863 .
 هاردن 793 .
 هاردي 861/142/25 .
 هارس 183/182 .
 هارغرافز 921 .
 هارفارد 135/270/424/549/570/
 575/576/579/584/824/835 .
 هارفي 861 .
 هارلوشابلي
 626/625/600/593/591/588/573 .
 هارليز 856 .
 هارمر 707 .
 هارناك 94 .
 هاروب 866 .
 هارول 394 .
 هاريسون 867/865/858/741/698 .
 هاريس شاندر 38 .

هاسن	هاسن
هاسن 846/731/699/392/140	هاسن 750/523/396/263/262/143/39
هاسن 696	هاسن 856
هاسن 1007/1006	هاسن 209/71
هاسن 885	هاسن 894/785
هاسن 373/372/296	هاسن 987
هاسن 515	هاسن 380
هاسن 37	هاسن 897
هاسن 805	هاسن 330
هاسن 460	هاسن 740/382
هاسن 140	هاسن 823/188
هاسن 504	هاسن 453
هاسن 789	هاسن 373
هاسن 397/264	هاسن 942/874
هاسن 726	هاسن 861
هاسن 890	هاسن 767/761/759/754/749
هاسن 60	هاسن 101
هاسن 173	هاسن 283
هاسن 722	هاسن 926
هاسن 610	هاسن 733
هاسن 273 / 184 / 171 / 113	هاسن 94/93/92/67/64
هاسن 611 / 610 / 608 / 572 / 546 / 545	هاسن 753
هاسن 293 / 287 / 286 / 283 / 238 / 234	هاسن 158 / 72 / 63 / 62
هاسن 884 / 343	هاسن 897 / 884 / 304 / 280 / 243 / 197
هاسن 667/660	هاسن 999
هاسن 47	هاسن 869
هاسن 879	هاسن 37
هاسن 556	هاسن 209
هاسن 216	هاسن 943/900/869
هاسن 341	هاسن 863
هاسن 79	هاسن 901
هاسن 609	هاسن 729/699/428
هاسن 688	هاسن 859
هاسن 171	هاسن 471
هاسن 66	

هنگاريا 966/470/144 .	هنگار 914 .
هنگ 937/936 .	هنگاتي 96 .
هنگس 552 .	هنگار 870 .
هنگنغ 744 .	هنگتون 900 .
هنگت 301/285 .	هنگرت 486/483 .
هنگرت 879 .	هنگسپورت 896 .
هنگوكنغ 1012 .	هنگر 904/895/865 .
هنگهان 904 .	هنگلدت 827/825 .
هنگسون 347 .	هنگريز اوين 504 .
هنگل 627/626/192/191 .	هنگز 514 .
هنگان 947 .	هنگروروز 915 .
هنگرمس 609 .	هنگد 102 / 491 / 778 / 814 / 959
هنگشلد 40/33 .	960 / 998 / 999 / 1002 / 1003
هنگسكيس 753 .	1007 .
هنگسون 904/867/834/713 .	هنگسون 138 .
هنگمان 209 .	هنگسكيس 930 .
هنگيل 874 .	هنگليرش 713 .
هنگي 681 .	هنگري بوانكاره 16 / 21 / 34 / 35 / 36
هنگدج 35 .	37 / 46 / 53 / 58 / 62 / 63 / 64 / 65
هنگدك 852 .	66 / 67 / 68 / 69 / 70 / 71 / 72 / 77
هنگدلفر 947 .	182 / 91 / 92 / 93 / 98 / 102 / 103
هنگدور 656 .	105 / 111 / 142 / 143 / 152 / 169
هنگدراكس 953 .	170 / 171 / 187 / 197 / 198 / 200
هنگدفلوري 929/465 .	204 / 276 / 291 / 295 / 356 / 558
هنگدوست 699 .	608 .
هنگدستاديوس 726/725 .	هنگري بكيريل 16 / 162 / 355 / 356 / 37
هنگدستان 429 .	359 / 361 / 423 / 851 .
هنگدسل 859 .	هنگري دوايز 570 .
هنگدفيتز 67/42 .	هنگري مروتان 776/774 .
هنگدماندر 81/80 .	هنگري ج. ج. موزلي 824/498/426 .
هنگدمون 783 .	هنگري نوريس راسل 545 / 571 / 586
هنگدنيه 813 .	591 / 595 / 606 .
هنگدو 886/884 .	هنگسغيرغ 453 .
هنگدفتيش 35/33/29 .	هنگس استروسكي 39 / 40 / 60 / 61 / 62
هنگديكر 794 .	63 .

هوند 263 .	هوس 329 .
هونڱ كونڱ 1007 .	هوساي 893 .
هويت 731/99 .	هوسنسكي 102 .
هويځن 79 .	هوستون 939/323/322 .
هويځنس 482 .	هوسدروف 146/41/32 .
هويل 869/610 .	هوسهولدر 127 .
هوينكل 853 .	هوسي 759 .
هويه 1007/911 .	هوغلانډ 807 .
هيل 549 .	هوغومري 743 .
هيپيرز 762 .	هوغونيوت 201 .
هيتروٿ 738 .	هوغيه دل فيلار 827 .
هيتروايه 896 .	هوف 717/605/98/72/35/33 .
هيتورف 278 .	هوفاس 761 .
هيد 801 .	هوفر 582 .
هيز بروك 36 .	هوفستادتر 377 .
هيز فيلد 683/677 .	هوفيان 396/358 .
هيزوار 707 .	هوفمستر 844/830/810/809 .
هيزوشيا 1015/918/374 .	هوك ناكاي 468/206 .
هيس 807/684 .	هوكسلي 765/759 .
هيساشي كيورا 1014 .	هول 715/498/298/286 .
هيسنرغ 983 .	هولستارڪ 387 .
هيسايد 291/289/288/273/80 .	هولتفريتر 658 .
352/295 .	هولتهوس 854 .
هيكان 875 .	هولتوسن 947 .
هيل 520/886/867/559/101/65 .	هولزكنخت 947/852 .
هيلبرٽ 59/38/37/33/31/27/26 .	هولست 303 .
72/76/82/84/94/142/143 .	هولز 518 .
204/145 .	هولفغر 800 .
هيلدبرانت 885 .	هولندا 635/633/501/394 .
هيلدبرغ 382/378 .	هولوك ليچاي 483/235 .
هيلس 326 .	هولونومي 97 .
هيلي 947 .	هوليسمة سموتس 761 .
هيمان 947 .	هوماسون 594 .
هيموتون 947 .	هومانس 894 .
هيمونس 718 .	هونت 877 .

- هينريش ويلاند 792/790/563 .
هينوك 922 .
هيوز 391/346 .
هيوم روثيري 449/209/173 .
هيرنج 60 .
هيرويندل 988/987 .
هيويت 934 .
هـ. ابراهيم 288/286 .
هـ. اذكينز 457 .
هـ. اركسلي 785 .
هـ. ارمسترونغ 433 .
هـ. آ. آلارد 786 .
هـ. ك. آلېوم 793 .
هـ. آلفين 633 .
هـ. ن. آندروز 908/832/831 .
هـ. اهارت 534 .
هـ. آوري 425/386 .
هـ. ف. اوسبورن 766 .
هـ. اوستلين 808 .
هـ. ايرنغ 432 .
هـ. م. ايفانس 876 .
هـ. هـ. ايكن 124 .
هـ. و. بابكوك 611 .
هـ. أ. باركر 799 .
هـ. ش. براون 800/457 .
هـ. ف. برين 134 .
هـ. برجر 699 .
هـ. برخت 737 .
هـ. برزيرام 761 .
هـ. برمان 516 .
هـ. بروكس 507 .
هـ. بروكمان 825 .
هـ. بروي 775 .
هـ. برييه دي لابي 827 .
هـ. س. بلاك 128 .
هـ. ب. بندر 840 .
هـ. ج. بهابها 1002 .
هـ. بوتويه 810/535/524 .
هـ. و. بود 128 .
هـ. أ. بورتوك 787 .
هـ. بورجف 848/847 .
هـ. بوش 306/304 .
هـ. ي. بوكلي 505/504 .
هـ. ك. بولد 831 .
هـ. بوهر 300/54/51 .
هـ. بويسون 574 .
هـ. بيت 449/163 .
هـ. بيد 506 .
هـ. بيغين 199 .
هـ. بيكر 366 .
هـ. بير 860 .
هـ. بيرون 701/699 .
هـ. تايلور 459 .
هـ. ج. ترميه 533/520/519 .
هـ. توسيغ 950/892 .
هـ. تيتوف 974 .
هـ. تيوريل 791 .
هـ. س. جاكسون 841 .
هـ. جرديان 252 .
هـ. س. جركون 840 .
هـ. جفريس 489 .
هـ. جلونتر 140 .
هـ. جلوكي 842 .
هـ. ل. جونسون 582 .
هـ. دادلي 698/132 .
هـ. د. داكين 472 .
هـ. دال 874/699/698 .
هـ. دريش 725/672/671 .
هـ. أ. دوزهام 694 .
هـ. دولاك 67 .

- هـ. دونكر 790/306 .
 هـ. دي ترا 778 .
 هـ. دي سينارمونت 526 .
 هـ. دي فري 760 .
 هـ. ت. دي لابس 531 .
 هـ. ديلائنر 595/563 .
 هـ. ديلز 457 .
 هـ. آ. راولاند 977 .
 هـ. روسكا 801 .
 هـ. ريتشموند 921 .
 هـ. ن. ريللي 828 .
 هـ. ريشنس 134 .
 هـ. ت. ريكتس 661 .
 هـ. زيغر 318 .
 هـ. ساندل 734 .
 هـ. سيبان 673/672/658 .
 هـ. سترونز 516 .
 هـ. سترين 836/800 .
 هـ. آ. ستولت 724 .
 هـ. ستون 843 .
 هـ. ستيفن 988 .
 هـ. ستيلين 764 .
 هـ. ستينيوك 875/469 .
 هـ. سكوفيك 319 .
 هـ. سلي 135 .
 هـ. سوليدير 815 .
 هـ. سيدل 319 .
 هـ. ن. شاپرو 24 .
 هـ. شارنيو كوتون 721 .
 هـ. ل. شانتر 806 .
 هـ. شينمز 508 .
 هـ. آ. شلينجر 457/454 .
 هـ. و. شميدت 365 .
 هـ. شنك 825 .
 هـ. شنلر 588 .
 هـ. شيندروهن 532/522/507 .
 هـ. آ. شويت 462 .
 هـ. صودنغ 784 .
 هـ. طويان 767 .
 هـ. طوسيف 853 .
 هـ. طوماس 813 .
 هـ. س. غاسر 697 .
 هـ. غامزون 804/799 .
 هـ. غامس 826/774 .
 هـ. غرويه 589 .
 هـ. ج. غريم 512 .
 هـ. غرينوسكي 132 .
 هـ. آ. غليزون 826 .
 هـ. غلينكا 826 .
 هـ. ب. غوي 828 .
 هـ. غوتون 299 .
 هـ. غوسن 829/828/774 .
 هـ. غولد بلات 893 .
 هـ. غيتل 282 .
 هـ. ف. فالوا 777/776 .
 هـ. ك. فان دي هولست 633/632/597 .
 هـ. فرنكل 808 .
 هـ. فروهليش 315 .
 هـ. ك. فروندليخ 438 .
 هـ. فريدل 796 .
 هـ. ب. فل 659 .
 هـ. فوس 669 .
 هـ. فون اولر 966/652/651 .
 هـ. فون هلمهولتز 609/430/273/200 .
 هـ. 896/861/856/699 .
 هـ. فينغ 784 .
 هـ. فيشر 814/800/683/677 .
 هـ. كارتان 98/78/76/67/57 .
 هـ. م. كالكار 795 .
 هـ. كامرلنغ اونسن 431/250 .

هـ. کایدن 934 .	هـ. لیبخ 27 / 28 / 29 / 46 / 48 / 50 /
هـ. ک. کر 635 .	هـ. 57 / 59 / 76 / 143 .
هـ. کرامر 105 / 102 .	هـ. لیسینکو 820 .
هـ. کریتیان 548 .	هـ. س. لیفیت 590 / 600 .
هـ. ک. کریفتون 746 .	هـ. م. لیمون 914 .
هـ. ک. کریو 862 .	هـ. لیون 817 .
هـ. آ. کریمرس 428 .	هـ. لیونس 318 .
هـ. کریو 808 .	هـ. ماکر 252 .
هـ. کوروبسکی 928 .	هـ. موتز 345 .
هـ. کورنیس 553 / 595 / 598 / 599 /	هـ. موت سمیت 308 .
600 .	هـ. مورتون 303 .
هـ. کورین 510 .	هـ. مورجینو 315 .
هـ. و. کوشنخ 686 / 696 / 699 / 894 /	هـ. مورغان 743 / 744 / 745 .
906 / 952 / 953 .	هـ. ج. مورس 836 .
هـ. ر. کوکس 916 .	هـ. ل. موفیوس 777 .
هـ. ک. کولس 825 .	هـ. ج. مولر 743 / 752 / 843 / 982 .
هـ. کولن 807 .	هـ. مولیش 796 .
هـ. ا. کومبتون 396 / 409 / 410 .	هـ. مونتیرو 853 .
هـ. کیب 841 .	هـ. میریان 914 .
هـ. کیلین 839 / 838 .	هـ. مینکوسکی 23 / 171 / 175 .
هـ. کیهارا 816 .	هـ. مینور 602 .
هـ. ج. لام 832 .	هـ. ناغاووکا 425 .
هـ. لشی 710 .	هـ. نوفیل 716 .
هـ. لرتز 672 .	هـ. نیکویست 128 / 289 / 290 .
هـ. آ. لورنر 150 / 152 / 156 / 164 /	هـ. هارتریدج 683 .
169 / 170 / 171 / 174 / 175 / 176 /	هـ. ش. هاتشر 125 .
177 / 182 / 196 / 212 / 237 / 257 /	هـ. ث. هارتلاین 226 / 700 / 701 .
262 / 272 / 273 / 279 / 280 / 313 /	هـ. هامپورت 827 .
314 / 320 / 321 / 337 / 339 / 350 /	هـ. هاوورث 645 .
352 / 449 .	هـ. هرلنت میفیس 724 .
هـ. لوشاتلیه 523 .	هـ. همبلت 819 .
هـ. لوند غارد 806 .	هـ. هرغینارد 943 .
هـ. لونفشامبون 508 .	هـ. هوفر 979 .
هـ. لوراغ 841 .	هـ. د. هولاند 507 .
هـ. لیپر 954 .	هـ. هیمبل 504 .

- هـ. س. واشنطن 531/514 .
 هـ. آ. والاس 979 .
 هـ. والد 700/102 .
 هـ. ج. ف. ونكلر 533/527 .
 هـ. أ. وود 799/769 .
 هـ. ج. وولف 683 .
 هـ. وير 685 .
 هـ. ويتني 36/35 .
 هـ. ويل 428/93 .
 هـ. آ. ويلسون 278/274 .
 هـ. س. ويليس 949/904 .
 هـ. س. يودر 521 .
 هـ. يوكاوا 1014 .
 - ٤ -
 واتس 953 .
 واتسولد 605 .
 واتسون 950/753/750/291 .
 واد 330 .
 وادينغتون 762/753 .
 وارمر 140 .
 واسرمان 678 .
 واشنطن 533/532/521/518/107 .
 979/978/824 .
 وال 952 .
 والان 267 .
 والتر 860 .
 والتون 370 .
 والد 138/136/122 .
 والكوت 713 .
 وائت 785/784 .
 وانتهورفن 859/858 .
 وايت 864/786/753/747/678 .
 وايتهيد 191 .
 وايلمان 321 .
 وايسن 843 .
 وايفون 101 .
 وايكوف 498 .
 وايلي دي فرانس 781 .
 واين 274/152 .
 ويلر 741 .
 وينوغرادسكي 928 .
 ويتكنس 342 .
 وحروف 720/715/714 .
 ودهاوس 814 .
 ودورد 465/458 .
 وديورغ
 805/800/798/797/796/795 .
 ورتنر 422 .
 وردلو 812 .
 وزنبرغ 354 .
 وزنر هينبرغ 161/160/159/158/162/264/241/240/239/209/162/427/420/411/410/269/266/448 .
 ورنغ 26 .
 وست 898 .
 وستر 365/209 .
 وستر غارد 713 .
 وستكرين 209 .
 وستنكهوس 347 .
 وشلر بلفو 911 .
 ولاستون 227 .
 الولايات المتحدة 142/137/102/101/143/287/252/194/173/144/143/291/296/297/298/300/302/385/374/373/371/326/306/405/404/401/399/395/394/452/451/437/433/427/408 .

ونرھاوس 841 .	490 / 481 / 465 / 459 / 457 / 453
ونشتين 746 .	548 / 547 / 533 / 524 / 498 / 494
ونخ هاو 1012/1009 .	600 / 589 / 573 / 567 / 553 / 552
ونکلمان 852 .	634 / 633 / 632 / 627 / 618 / 614
وهلدال 791 .	729 / 727 / 716 / 699 / 697 / 635
وهلن 216 .	813 / 797 / 750 / 743 / 734 / 730
وود 322/234 .	873 / 852 / 824 / 821 / 820 / 819
وودس هول 982 .	947 / 946 / 932 / 911 / 906 / 878
وول جيموت 899 .	965 / 962 / 959 / 955 / 951 / 950
وولف 888/1-10 .	981 / 980 / 979 / 976 / 975 / 967
وولکر 610/93 .	1011 / 988 / 983 / 982
ويتاکير 853 .	ولتر نرست 430/172 .
ويتېي 879 .	ولتر نول 526/204/203 .
ويتشي 694 .	ولتمان 863 .
ويتفورد 597/584/582/550 .	ولرستين 940 .
ويتيان 932 .	ولز 172 .
ويتنغ 723 .	ولش 930 .
ويتني 610 .	ولغرين 904 .
ويدرو 386 .	ولف آسنر 874 .
ويدمان 282/281/212 .	ولفريد لوفروکلارک 769 .
ويدنسکي 291 .	ولفويتز 101 .
ويرستراس 76 .	ولکھوف 361 .
ويرن 683 .	ولھرت 942 .
ويزساگر 609 / 376 / 375 .	وليامس 860/316 .
ويس 921 / 264 / 263 .	وليام شوکلي 506/328/327 .
ويسکوف 391 / 390 / 389 .	وليس 727 .
ويسان 720 .	وليم بيبي 731/730 .
ويسنيوسکي 133 .	وليم ف. جيوک 431 .
ويسيس 954 .	وليم کروکس 361 .
ويشرت 354 / 341 / 274 .	ونتريستينر 887/886/831/821 .
ويغتون 861 .	ونتريشتين 443 .
ويغجزودين 859 .	ونتريشتير 949 .
ويغل 916 / 861 .	ونترييرت 760 .
	ونتتر 947/558 .
	وندوس 938 .

و. م. آلن 886 / 691 .	ويغندر 735 / 556 / 411 / 389 / 373
و. هـ. آمونس 522 .	952 / 921 .
و. أندرسون 611 .	ويكسیر 952 .
و. اوریسی ماجوریس 587 .	ویکمان 908 .
و. اوستولد 439 / 150 .	ویل 922 / 753 .
و. ایقل 526 .	ویل شوفالی 41 / 40 / 38 / 35 / 33 / 26
و. ایتیهرفن 684 .	42 / 43 / 44 / 51 / 77 / 94 / 95 / 96
و. باتیسون 745 .	110 / 97 .
و. باد 590 / 573 .	ویلارد جیس 429 / 348 .
و. باریران 955 .	ویلارف لیپی 536 / 445 .
و. باستور 902 .	ویلاند تونیرغ 898 / 683 / 645
و. باسکوم 529 .	ویلبراند 890 .
و. م. بایلیس 687 / 682 .	ویلدت 606 .
و. براتین 328 / 327 .	ویلر 908 / 458 / 391 / 387
و. هـ. براغ 505 / 504 / 498 / 497 .	ویلز 755 .
و. ک. ر. براون 701 .	ویلستار 797 / 796 / 646
و. هـ. برکین 460 .	ویلسون 367 / 364 / 274 / 208 / 180
و. ج. برویک 504 .	368 / 396 / 397 / 404 / 406 / 410
و. س. بروغر 524 .	427 / 564 / 609 / 892 / 950 / 978
و. بریس 282 .	ویلکس 125 .
و. بریفلد 841 .	ویلکنز 888 / 866 / 865 / 864
و. بفان 328 .	ویلکوک 645 .
و. یلیتز 512 .	ویلم 217 .
و. ت. بنفانلد 827 .	ویلهم 962 .
و. ج. بوب 460 .	ویلی 852 .
و. بوٹ 366 .	ویلیامز 862 .
و. برد 288 .	وین تشی تاه 43 .
و. بورش 843 .	ویندوس 876 / 875 / 683 / 645
و. بولی 427 / 269 / 161 .	وینر 940 / 939 / 890 / 488
و. بونیان 298 .	وینغف 136 .
و. بیتس 133 / 127 .	ویر 718 .
و. بینیت 346 .	و. س. آدامس 596 / 572 / 571
و. هـ. تالیافرو 717 .	و. آرنولد 798 .
و. تروئز 432 .	و. آغجن 590 .
و. ی. تروجر 519 .	و. ج. اکرت 124 .

- و. و. تروير 815 .
 و. ف. توتل 526 .
 و. نومسون 256 / 279 .
 و. نيبور 832 .
 و. ثون 345 .
 و. جامس 795 .
 و. آ. جونسون 794 .
 و. جويل 841 / 843 .
 و. ل. جيغل 952 .
 و. جيمينورم 592 .
 و. جينغو 694 .
 و. ش. داراه 535 .
 و. ا. داندې 953 .
 و. دوبري 466 .
 و. دورنغ 503 .
 و. ديكسیر 506 .
 و. دي مانيو 735 / 766 .
 و. راشيفسكي 127 .
 و. رامسي 359 / 449 / 489 / 574 .
 و. رو 671 / 672 .
 و. ج. روبنس 783 .
 و. ه. رودبوش 448 .
 و. ك. روز 462 / 471 .
 و. روسلاند 605 .
 و. روف 455 .
 و. ك. رونجن 354 .
 و. ت. ريد 506 / 927 .
 و. ريشاردسون 275 .
 و. زاكاريازن 513 .
 و. زولزر 916 .
 و. ساجيتاري 590 .
 و. ساكسر 60 / 61 .
 و. ج. سيلر 953 .
 و. م. ستالي 663 / 808 / 868 .
 و. سميت 326 .
 و. ستون 567 .
 و. س. سوتون 744 / 816 .
 و. م. سيلفر 567 / 595 / 601 / 627 .
 و. شميدت 519 / 568 .
 و. ك. شنيدر 808 .
 و. ه. شوفر 784 .
 و. شوتكي 290 .
 و. شيوتز 424 .
 و. و. غارنر 786 .
 و. ه. غاسكل 699 .
 و. غراسيان 862 .
 و. غروئر 523 .
 و. ك. غريغوري 735 / 766 .
 و. غلازير 305 .
 و. غوثان 535 .
 و. غود 316 .
 و. غوردون 300 .
 و. ج. لرنادسكي 524 / 525 .
 و. فري 934 .
 و. م. فلتشروف 685 .
 و. فلديبرغ 698 .
 و. س. فنسن 549 .
 و. فوات 257 .
 و. فواغت 170 .
 و. فورستر 699 / 953 .
 و. فورسمان 853 / 857 .
 و. فريجنس 592 .
 و. فيشنيك 802 .
 و. فيلر 101 / 110 .
 و. ب. فيلمنغ 589 .
 و. ر. فيليسون 812 .
 و. ب. كانون 683 / 685 / 698 / 717 .
 و. 744 / 852 / 881 .
 و. كروول 31 / 453 .
 و. كريستيامن 633 .
 و. كشاليقي 401 .

- و. كلامبير 305 .
 و. كلپر 504 .
 و. ا. كنستد 777 .
 و. كورتيس 807 .
 و. كوسل 504 / 427 .
 و. كوفمان 276 .
 و. ج. كولف 946 .
 و. كوهلر 704 .
 و. كوهني 700 .
 و. كيسلن 800 .
 و. لاتيئر 448 .
 و. ت. لندجرين 532 / 522 .
 و. ه. لنغ 832 / 813 .
 و. ليمان 501 .
 و. لورنس بيرغ 498 / 497 / 450 / 449 .
 و. 516 / 511 / 502 / 499 .
 و. لوند 716 .
 و. لويد 927 .
 و. ه. لويس 705 / 678 .
 و. لينييه 832 .
 و. ليوانت 933 .
 و. ك. مارنان 590 .
 و. ماركو ويتز 557 .
 و. ماريسون 555 .
 و. ماسودا 514 .
 و. ج. ماك كالوم 881 .
 و. س. ماك كولوش 127 .
 و. ف. مايرهوف 685 .
 و. مورتون 949 .
 و. و. مورغان 582 .
 و. ب. مورفي 878 .
 و. موغج 506 .
 و. مينولا 837 .
 و. ش. ميلر 550 .
 و. نوداك 450 .
 و. م. نونيسكي 674 .
 و. نيلسون 743 .
 و. نيومان 463 .
 و. ب. هاردي 687 .
 و. ز. هاسيد 796 .
 و. هانسن 296 .
 و. هامن 365 / 358 / 341 .
 و. ن. هاورث 462 .
 و. هايترل 512 .
 و. هرشل 625 .
 و. ر. هس 699 / 686 .
 و. هوغيتز 574 .
 و. هونتر 690 .
 و. ه. هويل 941 / 681 / 680 .
 و. هيتلر 447 / 428 / 160 .
 و. هيكلان 630 / 629 .
 و. هيل 296 .
 و. م. هيزي 823 .
 و. هيوم روزري 502 .
 و. د. ورت 743 .
 و. ويپر 261 / 258 / 256 .
 و. ويزنبرغ 511 .
 و. ويفر 134 / 120 .
 و. ر. يبرناه 810 .
 و. ج. يونغ 652 / 651 / 650 .
 - اي -
 اليابان 494 / 291 / 144 / 135 / 133 .
 589 / 635 / 723 / 729 / 756 / 875 .
 959 / 960 / 1005 / 1009 / 1014 .
 ياتسو 25 / .
 ياغلوم 116 .

- يال 911/470 .
 يالانورث انديا اكسپيڊيشن 778 .
 ياماب 38 .
 يامانوشي 844 .
 يان اورد 626 .
 يانت 895 .
 يانكر 855 .
 پرسين 926 .
 يرفون 745 .
 يركس 584 .
 يماجيوا 919 .
 يوتا 344 .
 يوتفوس 185 .
 يورجس 856 .
 يوري غاغارين 974 .
 يوغسلافييا 777 .
 يوفي 331 .
 يوكلوا 401/163/162 .
 يول 103/99 .
 يولنغ 755 .
 اليونان 991/966 .
 يونغ 49/88/159/306/701/793 .
 882/880 .
 يرينغ 322 .
 يينا 725/704 .
 ي. اديان 226 .
 ي. اوردوان 505 .
 ي. ابواز 508 .
 ي. بارنار 594 .
 ي. بارهيل 134 .
 ي. ب. بافلوف 910/701/696/682 .
 973 .
 ي. ج. بترفسكي 973 .
 ي. برلين 934 .
 ي. س. بوين 602 .
 ي. بيكريل 326 .
 ي. و. بيلي 835/834/814 .
 ي. آ. تام 973 .
 ي. تيلهارڊ دي شاردان 769 .
 ي. جوفرواسان هيلير 674 .
 ي. دولاج 745/721/669 .
 ي. ي. راي 983/981/977/317 .
 ي. ه. رايت 25 .
 ي. روس 328 .
 ي. زوهرمان 697 .
 ي. سترانسكي 504 .
 ي. ستونر 298 .
 ي. سيغريه 450 .
 ي. شروڊنجر 172 .
 ي. و. غرينور 823 .
 ي. ج. فارين 465/464 .
 ي. م. فينوگرادوف 973 .
 ي. م. كويلوف 593 .
 ي. ف. كورتشائوف 973 .
 ي. ك. كوكسون 813 .
 ي. لامب 163 .
 ي. لانغموير 438/437 .
 ي. لوگران 702/226 .
 ي. ي. ليفي 142 .
 ي. ف. مشورين 821 .
 ي. ف. مگولم 469 .
 ي. مونتر 838 .
 ي. هارتويغ 588 .
 ي. هاندرسون 867 .
 ي. وولف 353 .

فهرس الرسوم والجداول

186	صورة 1 - حفل الجاذبية حسب نيوتن وحسب انشتين
	صورة 2 - رسمية لقصاصات ذات مشويات طاقوية ممكنة ، تحتلها الكترونات في معدن أوفي
210	عازل ، أوفي موصل نصفي
215	صورة 3 - التمثيل الموجز للتشتت ضمن ترتيب منتظم ذي بعدين
	صورة 4 - تقاطع السطح في بلورة من فلورور الليتيوم في خطوط التشتت المكتشفة بفضل صور
216	المجموع
242	صورة 5 - مثل على تقدم المطايف تحت الحمراء
294	صورة 6 - سلم الاشعاعات الكهرمغناطيسية (وفقاً للسلم اللوغاريتمي)
357	صورة 7 - قياس التأين المستحدث بفعل أشعة بكريل (ماري كوري 1898)
361	صورة 8 - رسم لعداد جيجر - مولر
362	صورة 9 - مخطط للعائلات المشعة الناشطة الطبيعية
363	صورة 10 - التثبت من وجود نواة ذرية (روزرفورد 1911)
364	صورة 11 - انتاج بروتون بقذف نواة الأزوت بالأشعة α
377	صورة 12 - مثل عن مخطط للتخطم النووي
385	صورة 13 - سيكلوترون (جهاز لتحطيم الذرات)
385	صورة 14 - مسرع خطي
388	صورة 15 - بئر قوة كامنة بالنسبة إلى النيوترون ومستويات طاقة النواة
388	صورة 16 - بئر وحاجز لقوة كامنة بالنسبة إلى البروتون
395	صورة 17 - جدول بالسرعات العظمى ذات البروتونات
399	صورة 18 - أحزمة الاشعاع الأرضي (ج . فان . آكن 1959)
407	صورة 19 - جدول بالجزئيات الأولية الرئيسية
410	صورة 20 - مبدأ أثر كومبتون
414	صورة 21 - مخطط فينيان
414	صورة 22 - مخطط فينيان في حالة تفاعلية الانغاء والانعدام
418	صورة 23 - عمليات P و T
418	صورة 24 - الثابتية بواسطة PTC

461	صورة 25 - صيغة الميزو- ديبروموستيلين
478	صورة 26 - أهم أقواس خطوط الهجرة والمتوازيات المعروفة في مطلع القرن العشرين
481	صورة 27 - فرضية برات التضاغية
481	صورة 28 - فرضية ايري التضاغية في عمق مقداره 50 كلم
488	صورة 29 - مسارات مختلف أنماط الموجات الزلزالية
572	صورة 30 - دياغرام هرتزسبرونغ - راسل
648	صورة 31 - رسمة الجزئيء ADN كما رسمها واطسون وكريك
655	صورة 32 - دورة كريس
995	صورة 33 - احصاءات عن الترجمات المحققة في مصر خلال القرن التاسع عشر
1013	صورة 34 - احصاءات النشرات العلمية الصينية (1958-1949)

فهرست

7	تمهيد
11	المقدمة : الوجه الجديد للعلم
12	نمو العلم - توسع طوبوغرافيا المجالات العلمية - عدم التتابع ، البنية والاعلام
	القسم الأول : الرياضيات
23	الفصل الأول : الاعداد والمجموعات
23	I - نظرية الاعداد
24	الاعداد الأولى - المعادلات الديوفانتية - الاعداد الجبرية أو التجاوزية
27	II - المجموعات
28	قياس المجموعات - مجموعات القياس L المعدومة - المجموعات التحليلية -
30	الفصل الثاني : الجبر والطوبولوجيا
	اتجاهات الجبر الجديد - جبرنة الطوبولوجيا - طوبولوجيا جبرية
	جيومتريا تفاضلية وجيومتريا جبرية - الجبر الطوبولوجي - اللغة
31	الطوبولوجية في الجبر - الملتقى : زمري
45	الفصل الثالث : نظرية وظائف المتغيرات الحقيقية
45	ما قدمه القرن 19 - نظريات بير - نظريات لوبيغ - دراسات مرتبطة - مواضيع أخرى ...
53	الفصل الرابع : وظائف المتغيرات المعقدة
	تعاريف - التحليلية - نقاط فريدة - الوظائف الكاملة أو جزئية التشكل - الأسر الطبيعية -
	تمثيل الوظائف التحليلية - العائلات الخاصة بالوظائف - الدورية - الوظائف المتعددة
53	الأشكال - وظائف عدة متغيرات -
68	الفصل الخامس : المعادلات التفاضلية والمعادلات ذات المشتقات الجزئية
68	I - المعادلات التفاضلية
68	النظرية التحليلية - المتغيرات الحقيقية - تنامت - تدخل نظرية المجموعات
73	II - المعادلات ذات المشتقات الجزئية
	النظرية التحليلية - المتغيرات الحقيقية - الزخم من النمط الاهليلجي - الموجات والنمط
	الهيربوي - النمط البارابولي والنمط المختلط - الطرق العملية ، التوزيعات - تدخل

73	..... الطوبولوجيا -
83	..... الفصل السادس : التحليل الوظيفي والتحليل العام
83	..... I - التحليل الوظيفي
85	..... II - التحليل العام
86	..... عدد الأبعاد - التفاضلية - التكامل -
88	..... III - نظرية التوزيعات
91	..... الفصل السابع الجيومتريا
92	..... الجيومتريا الاسقاطية - الجيومتريا الجبرية - الجيومتريا المنتاهية الصغر والجيومتريا الاسقاطية التفاضلية - جيومتريات كارتان - الطوبولوجيا والجيومتريا التفاضلية الشاملة - بحوث أخرى
101	..... الفصل الثامن : حساب الاحتمالات وتطبيقاتها
101	..... رؤساء السلسلة في المدرسة الاحتمالية - التبديه في حساب الاحتمالات - تطور حتمي وتطور احتمالي - الارتباطات العرضية (الاتفاقية) - قوانين الأعداد الكبرى ، دور قوانين لابلاس - قوانين اللوغاريتم التكراري - الطرق التحليلية الجديدة - المشتقات والتكاملات العرضية - طريقة مونت كارلو - نظرية التخمين - الخلاصات الشاملة (المستفدة) - حدود اللايقين - ذروة الترجيح - اختبارات الفرضيات الاحصائية - السيطرة على المصنوعات - العودة إلى التفاعليات العرضية - الديمغرافيا العامة العرضية - الميكانيك الاحصائي الحديث - الطاقة - الميكانيك الاحتمالي - علم الفلك - خطط التجارب - الاعلام القابل للقياس الاعلام المقدم بفضل العناصر ذات الارتباط العرضي - نتيجة شوتز-نيرجر - منطق المحتمل - أصول نظرية القرار
119	..... الفصل التاسع : السبرنية
120	..... I - نظريات الاعلام ونظرية الاتصالات
120	..... مختلف مفاهيم الاعلام - الاعلام والقصور - نظرية الاتصالات
123	..... II - أتمة الحساب والاستنتاج
123	..... تطورات الآلات الحاسبة - نظرية الآلات لمعالجة الاعلام - اوتوماتية الألعاب الاستدلالية - التأويل السبرنتيكي للظواهرات البيولوجية
128	..... III - نظرية القابلية للتكيف وتقنياتها
128	..... مشكلة المناشئ - أهمية مفهوم الفيدباك - « الحيوانات الالكترونية » - دور الارتجاعات في البيولوجيا (تجماس الانزان) -
132	..... IV - نظرية وأتمة الذكاء الحاد
132	..... استكشاف البنيات - الألسنية الواسعة النطاق الترجمة والتوثيق الأوتوماتيكي - نظرية الألعاب الاستراتيجية - التنبؤ ، القرار ، البحث العملي ، لعبات المصارح - الاستقراء الأوتوماتيكي -
141	..... الفصل العاشر : الحياة الرياضية في القرن العشرين

وسائط الاتصال - نقطة المدارس الوطنية - التيارات الكبرى - 141

القسم الثاني : العلوم الفيزيائية

الفصل الأول : الفيزياء الذرية والكاتية المعاصرة 149

حالة الفيزياء حوالي سنة 1900 - انتصار الحركة الذرية وظهور الكاتنا - نظرية بوهر -

الميكانيك التاموجي وامتداداته - سر الجزيئات في الميكروفيزياء - 149

الفصل الثاني : النسبية 166

I - النسبية الضيقة 166

1 - النسبية قبل 1905 166

نظم الاسناد المميزة ، وتحول غاليلي في الحركة الكلاسيكية - مبدأ النسبية في الديناميك

الكلاسيكي - مبدأ النسبية في الكهرودينامية الكلاسيكية - التفسير الكشفي عند لورنتز -

بوانكاريه - الكهرومغناطيسية ومبدأ النسبية الضيقة - تحويل لورنتز ومبدأ النسبية

..... 166

2 - مبدأ النسبية الضيقة (انشتين 1905) 171

ألبرت انشتين وفيزياء بدايات القرن العشرين - المسئلة الأساسية عند انشتين - مفهوم

التوافق من بعيد - انتقاد مفهومى الفضاء والزمان ، تقلص الأبعاد وعمدد الفترات -

الحركة النسبية - مفارقات « النسبية الضيقة » - بناء حركية نسبوية ، تعادل « الكمية -

الطاقة » 171

3 - مدى النسبية الضيقة وتطبيقاتها 179

تباطؤ الرقاصات - الحياة المتوسطة للميزون - القوانين النسبوية في الصلعة المطاطية -

التكافؤ بين الكتلة والطاقة 179

II - النسبية العامة 181

1 - مبدأ النسبية العامة 182

حد مبدأ النسبية الضيقة - قوى الجمود ، وادخال كون غير اقليدي - 182

2 - مبدأ التعادل أو التكافؤ 184

القوى الحقيقية والقوى الوهمية - التكافؤ بين قوى الجمود وقوى التجاذب الكوني - .. 184

3 - النسبية العامة - نظرية غير اقليدية في حقل الجذب - 185

قوى الجذب وادخال عالم غير اقليدي - دور مبدأ التكافؤ - 185

4 - قانون الجذب الكوني عند انشتين 187

القانون النيوتني الجذبي - قانون انشتين ، شرط بنية فضاء ريمان 187

5 - التثبت من قانون انشتين 189

حقل الجذب الذي يخلقه جسم يمتلك التناظر الكروي - تقدم سمت عطارد - انحراف

	الاشعة الضوئية داخل حقل جذب - الميل نحو الاحمر في الخطوط الطيفية ضمن حقل
	جذبى - المجال خارج المجرة - مجال النظام الشمي والكواكب القريبة - قياسات الميل في
	المجال الأرضي - المكبرات الاشعاعية أو المازر - مفعول موسباور - النظريات التوحيدية
189	والنظريات غير الثنائية -
197	الفصل الثالث : الميكانيك العام
	بوانكاريه والميكانيك بحسب مستوانا - التطورات التي دخلت على الديناميك الكلاسيكي -
	ميكانيك الأمكنة المستمرة - البحوث القريبة حول التبدييه في الميكانيك الكلاسيكي -
197	الاستنتاج
206	الفصل الرابع : فيزياء الجوامد
	البنية الذرية في الأجسام الجامدة - الخصائص الحرارية للبلورات - الخصائص الكهربائية في
	الجوامد - الخصائص المغناطيسية في الجوامد - الخصائص البصرية في الجوامد - الخصائص
207	الميكانيكية في الجوامد -
218	الفصل الخامس : ابصارية الضوء المرئي
	تذكير بالتطور السابق - بنية علم البصريات في مطلع القرن العشرين - أزمت علم
	الابصار - الابصار ، الفوتوغرافيا والفوتوكهرباء - ابصارية الرؤية - التعاريف الجديدة
	لمفهوم الصورة - علم الابصار الطاقوي - التعريف الجديد للقدرة الحولية - تطور فيزيولوجيا
	العين - تطور علم الابصار السيكلولوجي - التقدم في علم النظارات - إعادة تنظيم التصوير
	القياسي والتلوين القياسي - علم الابصار التقني الجديد - زجاج الابصار والرفائق الناعمة -
218	نظرة حول أهم التطبيقات العملية في الابصار -
234	الفصل السادس : التحليل الطيفي (المطيافية)
	مجال الاشعاعات الكهرومغناطيسية ودراسته - الفوتون - بدايات المطيافية الذرية - تطور
	نظرية الكائنات القديمة - الميكانيك الكانتي (ضلالم الأشعة) - الميكانيك الكانتي والسببية -
	اطياف الذرات ذات الالكترونات المتعددة - المطيافية الجزيئية - تكميم الاشعاع -
234	الاحصاءات الكانتية - تطبيقات المطيافية -
245	الفصل السابع : الحرارة المتحركة أو الترموديناميك
245	I - حفظ الطاقة
245	الصيغة التي وضعها جان برين - الصيغة التي وضعها ماكس بورن
246	II - مبدأ كارنو - النشاط
247	III - عدد افوغادرو
247	الحركة البراونية - نشاط الحركة البراونية - التارجحات - تحديدات أخرى لعدد افوغادرو .
250	IV - الحرارة المتحركة الاحصائية أو الترموديناميك الاحصائي
	درجات الحرارة الشديدة الانخفاض - تقنية الضغوطات العالية - استحداث درجات

	الحرارة العالية - التحليلات الكهربائية القوية - الاحصاءات الكاتنية - الحرارة النوعية في
250	الغازات ، أورثوشبه الهيدروجين - الحرارة النوعية في الجوامد
255	V - الطاقة المشعة
256	الفصل الثامن : المغناطيسية
	طرح بيار كوري - نظرية لانجفين - الحقل الجزيئي الذي قال به بيار ويس ، المغنطة
	المقاجنة - حرارة نزع المغنطة والاقتراب من الصفر المطلق - نقطة كوري ، الانتقال من
	الدرجة الثانية - المغنيطون - النظرية الكاتنية ، تكميم الفضاء - دوامة الالكترن وعزمها
	المغناطيسي - الآثار المغناطيسية الدورانية - تطور النظرية الكاتنية حول المغناطيسية - تأويل
	المغناطيسية الحديدية من قبل هيسنبرغ - موجات الدوامات - الجوانب عند بلوخ . المغنطة
	التقنية - نقض المغناطيسية الحديدية - المغناطيسية الحديدية - الاسترخاء المتوازي
257	المغناطيسية - التردد أو الرجح الكهربائي - المغناطيسية النووية
272	الفصل التاسع : الكهرباء ، الالكترونىك والكهرباء الاشعاعية
272	I - إكتشاف الالكترن
	تحديد هوية الالكترن كجزئية أولية - قياس شحنة الالكترن - تأويلات كتلة الالكترن -
273	الالكترونىك ونظرية النسبية
277	II - النظرية الالكترونية حول المادة في بداية القرن العشرين
	انتقال الكهرباء في الغازات - خازنات الطاقة الكهربائية الثابتة - الخصائص الكهربائية في
278	المعادن - البث الحراري الأيوني - البث الثانوي والمفعول الكهرضوئي - التأين
285	III - اختراع الأنابيب الالكترونية ونهضة الكهرباء الاشعاعية
	الديود الحراري الأيوني - اختراع التريود أو الصمام الثلاثي - التلغراف اللاسلكي قبل
	أنابيب الفراغ - استعمال الأنابيب ذات الفراغ - نظرية الشبكات الكهربائية - الضجة في
	المضخمات واللاقطعات - انتشار الموجات الكهربائية اللاسلكية أو الاشعاعية حول
285	الأرض ، اكتشاف الجو المؤين - التشويش الفضائي ، علم الفلك الاشعاعي -
293	IV - التواتر العالي
	الابصار المحترزي قبل سنة 1900 - مرشحات الموجات - الصمامات الثلاثية - الأنابيب ذات
293	الموجة المتصاعدة - المغنطرون - اختراع الرادار - الحزمات المحترزية -
301	V - الابصار الالكتروني وتطبيقاته
	مكشاف الذبذبة الكاثودي - زوريكين واختراع أنابيب التلفزيون - مكثف الصور والمضخمات
	البراقة - أنابيب التكبير - تطور الابصار الالكتروني - الميكروسكوب الالكتروني - تشتت
	الالكترونات والابصار الالكتروني الفيزيائي - التطبيقات العملية للابصار الالكتروني في
301	الفيزياء النووية -
307	VI - من البلاسما أو الغازات المؤينة إلى العازلات الكهربائية

307	نظرية الغازات المؤينة - الالكتروليات - التقدم في نظرية العازلات الكهربائية
316	VII - المطيافية المرترية وتطبيقاتها العملية
316	المطيافية المرترية - الساعات الذرية - تضخيم الإشارات الضعيفة بواسطة المازر
320	VIII - مرور التيار الكهربائي في الأجسام الجامدة
	نظرية الالكترونيات في المعادن سندا لسومرفلد - مسار الالكترونيات الحر الوسطي داخل المعادن - نظرية الضم : العازلات والموصلات النصفية - المقومات والموصلات النصفية - الترانزستور - الموصلات النصفية في حالة التواترات العالية - نجاح وحدود نظرية استعمال الالكترونيات في الجوامد - التوصيلية الفائقة -
320	IX - تحديد فيزياء البلاسما
334	المغناطيسية السائلة المتحركة - النظرية الميكروسكوبية حول البلاسما - الموجات داخل البلاسما - اشعاع البلاسما - الموجات داخل ضمامم الالكترونيات - البلاسما في الجوامد -
335	X - الانتقال من الموجات الكهربائية اللاسلكية إلى الموجات الضوئية
344	نحو انتاج موجات تحت ميليمترية - المولد النسبوي - اللازر أو المشعاع -
344	XI - الطاقة الكهربائية والبحث العلمي
347	الطرق الكلاسيكية لانتاج الكهرباء - الكهرباء ذات المنشأ النووي - طرق جديدة لانتاج الطاقة الكهربائية -
347	الفصل العاشر : النشاط الاشعاعي والفيزياء النووية
354	I - من اكتشاف أشعة ايكس إلى اكتشاف النيوترون (1895-1930)
354	اكتشاف أشعة X - اكتشاف النشاط الاشعاعي - العناصر الاشعاعية : البولونيوم والراديوم - تطور البحوث حول النشاط الاشعاعي - الاشعاعات ، الطرق الأولى لاكتشافها - تطور المواد المشعة ، العائلات - الآثار البيولوجية للاشعاعات - اكتشاف النواة ، النظائر المشعة - التقلات (1919) - الاشعاعات الناشطة α, β -
354	II - النشاط الاشعاعي والفيزياء النووية من سنة 1930 إلى 1940
366	اكتشاف النيوترون - الالكترون الايجابي - النشاط الاشعاعي المصطنع - انشطار الاورانيوم - التفاعلات المتتابعة والطاقة النووية -
366	III - النشاط الاشعاعي والنماذج النووية
374	مختلف أشكال النشاط الاشعاعي ومنهجية النوى الذرية - النماذج النووية الأولى : النماذج الذرية « النقطة السائلة » ونموذج الجزئية α - الاعداد « السحرية » ونموذج الطبقات ذو التفاعل بين التلويوم والمدار - النموذج « الموحد » الذي وضعه بوهر - موثلسون -
374	IV - التفاعلات النووية
384	السرعات الأولى للجزيئات - المظاهر العامة للتفاعلات النووية - مختلف أنماط التفاعلات

384	النوية - نماذجها - بعض الأنماط الخاصة بها - تطور السرعات الكبيرة
395	V - الأشعة الكونية والجزئيات الأولية
	الاستكشاف الأول للأشعة الكونية - الإشعاع الكوني الأولي - من الأشعة الكونية إلى
	سرعات الجزئيات - تقدم التقنيات الأدواتية - كثرة الجزئيات الغريبة - مضادات
396	الجزئيات . بنية التكلونات
409	VI - التفاعلات الأولية - القوى النووية
	وجود الفوتونات . الآثار الضوئية الكهربائية وكومبتون - الحقل الكهرومغناطيسي المكتمل -
	نظرية ديراك حول الإلكترون والبوزيترون - النظرية الكمية للحقول عامة - القوى النووية ،
	التفاعلات القوية - التفاعلات الضعيفة ، الانشطار B - قاعلة PCT - ثابتية C,P في
	التفاعلات الكهرومغناطيسية والقوية - التفاعلات الأخرى الضعيفة - استنتاج حول
409	التفاعلات ونظرية الحقول
422	الفصل الحادي عشر : الكيمياء
422	I - حالة الكيمياء في سنة 1900
423	II - النشاط الإشعاعي وانعكاساته الكيميائية
423	1 - من العناصر المشعة إلى النظائر المشعة
423	النشاط الإشعاعي واكتشاف النظائر المشعة - اعداد واستخدام النظائر المشعة - ...
425	2 - بنية الذرة
425	التثبت من حقيقة البنية الذرية - العدد الذري - نظرية بوهر - الارتباط الكيميائي ..
429	III - الكيمياء الفيزيائية
429	1 - المنشأ والتطورات الأولى
429	2 - الترموديناميك الكيميائي
	التطبيقات الأولى - القانون الثالث في الترموديناميك - التأثير من وجهة النظر
429	الكهروديناميكية -
431	3 - التحرك الكيميائي
432	الفرضيات الأولى - فرضية التشيع - التفاعلات التسلسلية المتفاعلة
433	4 - نظرية الحلول
433	نظرية أرهينيوس - نظرية دييه - هوكل -
434	5 - نظرية الحامض - القاعدة
434	المفهوم الكلاسيكي - نظرية برونستد - نظرية لويس -
436	6 - كيمياء السطوح (اللدائن)
436	اتجاه البحوث - الآلات الجديدة - الامتصاص من قبل الجوامد -
438	IV - الكيمياء التحليلية

438	1 - الاتجاهات العامة
438	حالة الكيمياء التحليلية سنة 1900 - تأثير الكيمياء الفيزيائية
439	2 - التحليل التصنيفي
440	3 - المناهج الادوية
	الاتجاهات العامة - البولاروغرافيا - الطرق المقياسية المطيافية التصويرية - المطيافية تحت الحمراء - انحراف الأشعة السينية والالكترونات - قياس طيفية الكتلة - الصدى المغناطيسي النووي - الصدى الالكتروني
440	
442	4 - الاستشراب
	الاستشراب الامتصاصي - التحليل الجبهوي والاستشراب بالشطف المتجزئ - الاستشراب المقسم - الاستشراب في مرحلة البخار
442	
445	5 - النظائر في الكيمياء العضوية
445	استعمالها في التحليل - تقنيات تحديد التاريخ
445	
445	V - الكيمياء المعدنية
445	1 - نهضة الكيمياء المعدنية
446	2 - مشاكل البنية والتواصل
	مركبات ورنر المعقدة - ما قدمت النظرية الذرية - الارتباطات الخاصة - حالة الجمودية - الحالة المعدنية
446	
449	3 - ملء وتوسيع الجدول الدوري
449	الثغرات في الجدول الدوري - اكتشاف العناصر الناقصة - العناصر فوق الاورانيوم
451	4 - مجالات خاصة في البحوث
	عناصر التريث النادرة - التقدم في المعرفة وفي استخدام المعادن - أشباه معادن تجارية جديدة - هيدروالبور وهيدرو السيليسيوم - السيليكونات - مركبات الفلور -
451	
455	VI - الكيمياء العضوية
455	1 - التوجهات العامة في القرن العشرين
456	2 - تقدم التركيب
456	منشط غرينار - التحويل - تكثيف ديلز - الدر - النجاحات التركيبية في نصف القرن -
458	3 - التطورات النظرية
458	الارتباط الالكتروني - الجدور الحرة - الكيمياء المجسمة - التحليلات التشكلية
461	4 - المنتجات الطبيعية
461	الغلوسيدات - الشحومات والشمعيات - المركبات الأزوتية - الستروبيدات
463	5 - نهضة الأدوية العضوية
464	مشتقات الزرنيخ - السولفاميد - مضادات الملاريا - المضادات الحيوية - الأدوية الهرمونية

466	6- صناعة الكيمياء العضوية
467	مستحضرات التجميل - المستحضرات الكيميائية الزراعية -
468	VII - البيوكيمياء
468	1- حالة المعارف في سنة 1900
468	2- المعارف الجديدة حول التغذية
468	التعرف على أمراض العوز - الفيتامين A والجزريات - أشباه معادن أساسية - البروتينات والحوامض الأمينية الأساسية -
471	3- دراسات حول الأيض الوسيط
471	- إبيض الشحوم - إبيض الآزوت
472	VIII - الخلاصة

القسم الثالث - علوم الأرض والكون

477	الفصل الأول : الجيوديزيا والجيوفيزياء
477	I - الجيوديزيا والغرافيمتريا
	طريقة أقواس خطوط الهجرة - طريقة المساحات - الانحرافات النسبية في الخط العامودي - الفرضيات التضاغية الاهليلج الدولي المعياري - التقدم الضخم في مجال الغرافيمتريا - القياسات النسبية للجاذبية الأرضية - التحديدات الغرافيمترية في البحر - الغرافيمترات الاستقطابية - الشذوذات على الجاذبية الأرضية - تخفيض القيم الملحوظة للجاذبية الأرضية - شذوذات الجاذبية الأرضية في مجال الجيولوجيا والجيوفيزياء - شذوذات الجاذبية الأرضية في الجيوديزيا - المسألة الأساسية في الجيوديزيا المعاصرة - التعريف الجديد للارتفاعات -
478	II - علم الهزات الأرضية
487	مختلف أنماط مقاييس الهزات الأرضية - مختلف مسارات الموجات - باطن الأرض - فرضية رامسي -
487	III - المغناطيسية الأرضية
490	دراسة الحقل الوسيط - دراسة الحقل الإضافي - أدوات القياس المغناطيسي
490	IV - علم الانواء أو الميتمورولوجيا ، وعلم الفلكيات الجوية
492	V - علم المحيطات الفيزيائي
493	VI - التعاون الدولي
494	الفصل الثاني : العلوم التعدينية
496	I - علم التبلر الجيومتري
496	نشأت الأشعة السينية بفعل البلورات - التصوير الشعاعي البلوري - بنيت الأجسام التي

	لا تشكل لها من الزجاج والسوائل - الحالات التشاكلية الوسطية - العيارات البلورية
496	المعقدة - البلورات المختلطة ، المحاليل الجامعة -
503	II - الكريستالوغرافيا الفيزيائية « علم التبلر الفيزيائي »
	تنامي وتناقص البلورات - تغير السمة أو الهيئة - الشوائب البلورية - الحالة التفككية
	المتدركة - الخصائص البصرية في أشباه المعادن - التنوير أو اللمعان - الألوان - المقعول
503	الكهروضوئي والموصلات النصفية - خصائص فيزيائية أخرى - المساواة -
510	III - كيمياء التبلر
	الأشعة الذرية ، والأشعة الأيونية - الارتباطات الذرية في البلورات - التشاكل وتعدد
511	الأشكال - التحليل الكيميائي لأشباه المعادن - التحليل الحراري - التحليل المباشر الآلي - ..
515	IV - الاتحادات شبه المعدنية في الطبيعة
	تعريف وتصنيف الأنواع شبه المعدنية - شبه التوالد والتصنيفات شبه التوالدية - اشباه
	المعادن المشعة - علم الصخور - علم البنيات - نظرية التحولية ؛ الصخور الماغمية والتولد
515	الصخري العميق - دراسة المآوي شبه المعدنية - البتروغرافيا حول الصخور الرسوبية - ..
524	V - الكيمياء الأرضية والكيمياء الكونية
525	النيازك
426	VI - الطرق التجريبية في مجال علم التعدين - استنتاج
528	الفصل الثالث - الجيولوجيا
	وسائل الاستقصاء الجديدة - الحفر العميق - الرصد الجوي - الجيوفيزياء أو علم فيزياء
	الأرض - الكيمياء الأرضية - تصنيف الصخور - الصخور التحولية (ميتامورفية) -
	الصخور الرسوبية - علم الإحاثة وعلم طبقات الأرض (ستراتيجرافيا) - علم التاريخ
	الأرضي والنشاط الإشعاعي - علم البنية الأديمية - طفاوة القارات - تيارات الهواء
	الساخن - التحولية التي تولد التثنيات - الجغرافية الإحاثية والجغرافية الاحيائية - الحارطات
	الجيولوجية للعالم والمعجمية أو المصطلحات الستراتيغرافية (علم طبقات الأرض) - حياة
528	الأرض - دور الجيولوجيا في الاقتصاد الحديث - معنى الجيولوجيا المعاصرة -
544	الفصل الرابع : علم الفلك
544	I - مدخل
547	II - التلسكوب والمراسد
549	III - اللاقطات
551	IV - علم الفلك الاسامي والميكانيك السماوي
551	1 - علم الفلك الاسامي
552	ثوابت أساسية - الجداول الأساسية - جداول المواقع ونظام الاسناد -
554	2 - الأرض والزمن

	آلات الرصد ، حفظ الزمن - حركة القطب - الوقت وخطوط الطول - سرعة دوران
554	الأرض - أزمنة التقويم -
558	3 - الميكانيك السماوي
558	الاكتشافات - البحوث النظرية - النسبية - نظرية القمر والكواكب -
560	V - الشمس ، الكواكب ، القمر
561	1 - الشمس -
	الشمس كوكب وسط - الشمس مصدر قريب ، العلاقات بين الظواهرات الشمسية
561	والأرضية
565	2 - النظام الشمسي
565	- الجرد والأبعاد - فيزياء الكواكب
568	3 - القمر
569	VI - المطيافية أو المبكروسكوبيا
	التصنيفات المطيافية - الخط الياني الذي وضعه هرتمز سبرونغ - راسل - تطور النجوم -
570	خطوط النبلوم -
575	VII - القياس التصويري والقياس التلويبي
575	1 - القياس التصويري النجمي
575	الطرق الرئيسية - الطرق الفوتوغرافية - الطرق التصويرية الكهربائية
581	2 - القياس التلويبي
582	3 - القياسات الطاقوية
583	4 - فوتومتريا النجوم غير النقطية
585	VIII - النجوم المزدوجة ذات الكسوفات
588	IX - النجوم المتغيرة
	السفدييات - المتغيرات ذات الحقة الطويلة - المتغيرات البركانية - المستجديات - المستجديات
589	الفائقة -
594	X - المجرة ، المادة فيها بين النجوم
594	السدائم المظلمة في المجرة - الوسط ما بين النجوم
598	XI - السدائم خارج المجرة
598	الاكوان الجزر - اتساع الكون
603	XII - الفيزياء النجمية النظرية
603	1 - وصف فيزياء النجوم
	نظرية الكرات الغازية ، التوازن الحراري - التوازن الاشعاعي ، بحوث شوارتزشليد -
603	المسائل الكلاسيكية حول النقل - تشكل أطياف الخطوط

607	2- المسائل التطورية
	المادة بين النجوم ، السدم الكوكبية ، الفضاءات الشفافية - دينامية الأنظمة النجمية -
	مسائل التطور النجمي ، الفرضيات حول نشوء الكون أو الفرضيات الكوسموغونية -
	مصادر الطاقة - البنية الداخلية والعمليات التطورية . دياغرام ه- ر - النجوم الفتية ،
607	المتبقيات النجمية - الفرضيات الكوسموغونية : أصل الكواكب -
611	3- الاتجاهات في علم الفيزياء النجمية الجديد
	العلاقة شمس أرض ، الظواهر غير الحرارية - نظرية الفضاءات « الفيزياء النجمية
611	الجديدة » -
613	XIII - الأقمار الصناعية
614	1 - بدايات الملاحة الفضائية
	الأقمار الصناعية A.G.I. أو السنة الجيوفيزيائية الدولية - الأقمار الصناعية الأولى -
614	البدايات الأميركية
616	2 - تطور القمر الصناعي
	التحكم بالمدار - المبادلات مع الأرض - استعادة الكبسولات أو الأقمار الصناعية -
616	الأقمار المتخصصة - النتائج
621	XIV - الكوسمولوجيا أو علم وصف الكون والكوسموغونيا أو علم تشكل الكون ونشأته ...
	تذكير - كوسموغونيا النظام الشمسي - الكوسمولوجيا ذات المستوى الكبير (مجرتنا) - ان
	قطر المجرة هو من مقياس 100000 سنة ضوئية عائلة المجرات تأهل الفضاء - حيد طيف
623	المجرات وثابتة هابل - المسألة الفلكية - الحل الانشيني - الكون في حالة انتشار -
631	XV - علم الفلك الاشعاعي
631	1 - بدايات علم الفلك الاشعاعي
631	الطليعيون - الرواد - العقول النيرة
633	2 - تطور الأدوات والوسائل
634	3 - تطور الاكتشافات الكبرى
	علم الفلك الاشعاعي والرادار والنيازك - الكواكب السيارة - الشمس - المستحدثات
634	العلاقة - الخط 21 ستم - الهالة المجرية - المصادر الاشعاعية خارج المجرات -
641	الفصل الأول : الحياة الأولية
641	I - الخلية
	السبل الجديدة للبحث - النواة والسيترولاسم - التنظيم الفيزيائي الكيميائي ، والكيميائي
	الخالص للمادة الحية - أهم مكونات المادة الحية - هندسة المركبات العضوية - الفيزيولوجيا
	الخلوية - الانزيمات - عمليات الأيض (ميتابوليسم) - الاستقلاب البنائي (انابوليسم) -

641	الأعمال الفيزيائية - الموت الخلوي
658	II - زراعة الأنسجة
659	III - نقل الحياة
659	التكاثر الخلوي - التوالد الذاتي في الأعضاء الخلوية
661	IV - الأشكال تحت الخلوية في الحياة
661	1 - الميكروبات
662	2 - الفيروسات والحياة الأولية
662	خصائص الفيروسات وتصنيفها - الفيروسات ومسألة الحياة
667	الفصل الثاني : بعض المسائل الكبرى في البيولوجيا الحيوانية
667	I - التناسل وعلم الأجنة
667	الخلايا الجنسية - الاختصاص أو الالتحاق - ما قدمه التوالد العذري التجريبي - علم الأجنة -
668	التوليد الأمساخي التجريبي -
675	II - الفروقات الجسدية
675	النسيج الملحمي - الأنسجة العظمية - الخلايا الملحمية - الكريات الحمر - فئات الدم وعامل ريزوس - الكريات البيضاء - البلاسما الدموية - تخثر الدم -
681	III - الأيض والتغذية
682	أنواع الأيض - التغذية - فيزيولوجيا الهضم - الإفراز البولي - الفيزيولوجيا التنفسية - فيزيولوجيا دوران الدم - البنية العضلية وفيزيولوجيتها -
685	IV - التناسق العضوي
685	1 - التناسق العصبي النباتي
687	2 - التناسق الغدي الصمائي
687	بدايات علم الغدد الصماء - البيوكيمياء الهرمونية - التوالد الهرموني - المفاعيل الهرمونية - التناسق الغدي الصمائي - ولادة علم الغدد الصماء الجنسي لدى الفقريات - النجاحات الأولى - ما قدمته البيوكيمياء - نهضة علم الغدد الجنسي - تحديد الجنس عند الجنين -
694	V - دفاعات الجسم
694	المناعة - مسألة التطعيم الحيواني -
696	VI - الفيزيولوجيا العصبية والحسية
697	علم الأنسجة والفيزيولوجيا العصبية - المراكز العصبية - الفيزيولوجيا الحسية - الانعكاسات - الانعكاسات الشرطية - البيوسيرينية والفيزيولوجيا العصبية - البيولوجيا
704	وعلم النفس
704	الفصل الثالث : الزوولوجيا أو علم الحيوان
704	I - طرق وتنظيم البحث

	علم الفحص المجهرى والتقنيات المتجمعة - السينياتوغرافيا - التشريح المجهرى - تقنيات
704	التحليل الفيزيائية والبيوكيميائية - أطر الجهود الجياعية -
707	II - المفاهيم الجديدة في علم الحيوان
707	التصنيفات الزولوجية - شجرات الأنساب -
710	III - الجدول البياني بالحيوانات
710	الفقرات - اللاقريات - المتخصصون - الاحاث في اللاقريات -
713	IV - علم الفرطيسات (بروتستولوجيا)
	علم التصنيف - علم الأنسجة وعلم الجنس - علم البيئة والعادات والسلوك - التكافل بين
713	الوسطيات والعت
715	V - التطفل وعلم الطفيليات
715	الوحدات الخلية - الحيوانات التوالى - أثر الطفيل على المضيف - المؤاكلة والتكافل
717	VI - علم الغدد الصماء لدى اللاقريات
720	VII - مسألة الانسال أو التوالد عند اللاقريات
720	1 - التناسل
	السوما والجرمين - السمات الجنسية الثانوية - التوالد العذري - ازدواجية الجنس ذاتياً -
720	الجيناندر ومورفيم - التناسل غير الجنسي -
724	2 - علم الاجنة
726	VIII - علم البيئة أو الايكولوجيا
	المناهج - البيومتريا أو حساب ديمومة الحياة البشرية - نهضة علم المحيطات البيولوجي -
	الاستكشاف تحت البحار - اعلاق البحر - علم البحيرات - الحيوانات التخيلية - حيوانات
727	المغاور - حماية الطبيعة - الجغرافية الحيوانية -
736	IX - علم السلوك (إيتولوجيا)
736	الانتحاءات - الغريزة - الظواهر الاجتماعية - الاقليم - الحشرات الاجتماعية -
743	الفصل الرابع : الوراثة والتطور
743	I - الوراثة
744	1 - علم الوراثة الشكلي
	الوراثة وارتباطها بالصبغية الجنسية - الترابط أو الاشتراك في السمة - النظرية الصبغية في
	الوراثة - البراهين حول التوضع الصبغي - البراهين على الترتيب الخطي للجينات فوق
744	الصبغات - نظرية التهجين
747	2 - الوراثة الفيزيولوجية
	مختلف اغاظ الجينات - الزخم والخصوصية - علم الوراثة الظاهرية - مفهوم الغلبة أو
	السيطرة - مفعول الموقع - عمل الجينات - الوراثة عند الأجسام الميكرومكوبية - الوراثة

747	غير الصبغية -
751	3 - الوراثة التطورية -
751	التحولات الجينية - التحولات الصبغية - القيمة التطورية للتحولات -
755	4 - الوراثة البشرية -
757	II - التطور -
757	واقعة التطور : براهينها وأنماطها - النظريات التفسيرية للتطور -
763	الفصل الخامس : التشريح المقارن وعلم الاحياء عند الفقريات -
763	I - التشريح المقارن -
764	II - نهضة الاحياء فيها خصص الفقريات -
764	فرنسا - سويسرا - المانيا - بلجيكا - انكلترا - روسيا - اميركا -
766	III - الانماهات الحالية في إحياء الفقريات -
766	التقيب أو الحفريات - النتائج الكبرى -
771	الفصل السادس : قبل التاريخ -
	الظواهرات الجليدية والقرية من المناطق الجليدية - التسلسل الكرونولوجي - المصاطب
	البحرية والنهرية - الرسوبات في الكهوف - دراسة النباتات - دراسة الحيوانات -
	الأوربوييتيك - البشر المتحجرون - الصناعات الحجرية - ما قبل التاريخ في آسيا - قبل
772	التاريخ في افريقيا - قبل التاريخ في اميركا - تطور الفن والفكر -
783	الفصل السابع : الفيزيولوجية النباتية -
783	I - النمو والتطور : الأوكسينات -
	الخميرة الهورمونية في الانتحاءات - حامض اندول أستيك وخصائصه الفيزيولوجية -
	الاوليات الاوكسينية - الدورة الضوئية وتسريع الازهار - تطور الثمرة ، الاقلاح الذاتي -
784	أوكسينات جديدة تركيبة وهورمونات -
789	II - نظرية التنفس -
	الأكسيدات البيولوجية - وربورغ وتنشيط الأوكسيجين - كيلين واكتشاف الملونات النووية -
	الأكسيدات بنزع الهيدروجين - التخمر الكحولي - المرحلة الهوائية في التنفس : دورة
789	كريس - الفسفرات التأكسدية -
796	III - نظرية التركيب الضوئي -
797	1 - من سنة 1900 إلى سنوات 1937-1941 -
	مرحلتا تفاعلية التركيب الضوئي - فرضية التحلل الضوئي - اكتشاف التقليص
	الضوئي - الغذاء الكربوني كأولية كونية - الملونات وبنيتها الكيميائية - المردود الكمي
797	للتتركيب الضوئي -
801	2 - من سنة 1937 إلى 1960 -

	طرق البحث الجديدة - تجديد مفهوم التركيب الضوئي - تثبيت وتخفيض CO ₂ . دورة
801	تخفيض الكربون
805	IV - لمحات عامة حول بعض المسائل
805	التغذية المعدنية - اقتصاد الماء . تغير المكان - التغذية الأزوتية -
809	الفصل الثامن : علم النبات
809	I - المورفولوجيا العامة أو علم التشكل
	تكون النباتات الوعائية - مورفولوجيا النمو والتطور ، انتظام الأوراق ، نظرية الزهرة - علم
	النبات القديم - علم الفيريات - علم الأخشاب والتشريح - علم الأجنة - علم الوراثة
809	الخلوي - علم الخلايا الكلاسيكي -
819	II - علم النبات الأرضي والجغرافيا النباتية
819	1 - دراسات بيولوجية وزهرية . الاستكشاف
	البحث الكلاسيكي - منعطف في البحث - فافيلوف وتجديد علم النبات التطبيقي -
	البعثات الأميركية الكبرى - علم السلالات النباتية - المنهجية الاحيائية ودراسة النوع -
819	المستكشفون ، المعشبات ، النباتات -
824	2 - الجغرافيا - علم البيئة
	التيارات في مطلع القرن - برون - بلانكت وكليمانس وعلم الاجتماع النباتي -
	التصنيفات المتعلقة بالشياخ - مفهوم السينوزي - دراسة النباتات الاستوائية - توزيع
825	النباتات - المسح الجغرافي النباتي - حيوية الجغرافيا النباتية -
829	III - تصنيف المملكة النباتية
830	1 - الحزازيات
831	2 - المرخشيات
832	3 - النباتات ذات البذور
832	عاريات البذور - الكاسيات البذور
835	4 - علم الطحالب
836	الطحالب الزرقاء - الطحالب الخضراء - الطحالب السمرات - الطحالب الحمراء -
839	5 - علم الفطريات
840	بازيدوميسيت - اسكوميسيت أو الفطريات الزقية - فيكوميسيت -
843	IV - التناسل
844	الطحالب - الفطور

القسم الخامس : الطب

851	الفصل الأول : الفطريات والاستكشاف
851	I - الراديولوجيا أو علم الأشعة

856	II - علم الفحص الداخلي
856	III - الافراغ بالقسطر
857	IV - الفحص الاحيائي والتقنيات المجهرية
858	V - التقنيات البيوفيزيائية والبيوكيميائية
	التصوير الاشعاعي الكهربائي - التنصت إلى حركات القلب - التسجيل الكهربائي
	الدماغي - الوصف الكهربائي للعضلات - تقنيات قياس السمع - تقنيات فحص باطن
858	العين - النظائر المشعة - طرق تكسير البروتينات - عمليات التعبير الكيميائي -
864	VI - التجارب الوظيفية
	الكبد - الدرقية - الاستجابة الوظيفية الكلوية - الاختبارات الوظيفية للقشرة فوق
	الكلوية - دراسة الدم الاستكشاف الوظيفي للمبيض - الاستكشاف الوظيفي للخصيتين -
	الاستكشاف الوظيفي لشبه الدرقية - الاستكشاف الوظيفي البنكرياسي - الاختبارات
864	الوظيفية التنفسية
867	VII - علم الفيروسات
869	الطرق الفيزيائية الكيميائية
871	الفصل الثاني : التقدم في معرفة الحالات المرضية
871	I - الوراثة
873	II - الاشعاع والحساسية
874	III - الفيتامينات
875	فيتامين A - D - E - K - مجموعة الفيتامينات B - C و P
880	IV - علم الغدد الصماء
	الانسولين - هرمون شبه الدرقية (الباراثيرويدي) - الادرينالين - هرمون القسم الامامي
	من النخامية - الهرمونات النخامية - هرمونات الخصيتين - هرمونات المبيض - هورمونات
	القشرة فوق الكلية - هورمونات النخامية الخلفية أو الجيب الخلفي - الهرمونات
880	المهيونالامية -
889	V - امراض الدم
889	فئات الدم - المضادات - اضطرابات التخثر - الهيموغلوبينات غير الطبيعية
891	VI - علم أمراض القلب
893	VII - ارتفاع الضغط وأمراض الأوعية
894	VIII - أمراض الكلية
896	IX - أمراض الكبد والبنكرياس
899	X - أمراض الغذاء

901	المظاهر الاستباقية
901	XI - علم التنفس والصل
906	XII - علم الأعصاب وعلم النفس المرضي
	نهضة علم الأعصاب العيادي - الصرع أو داء النقطة - التهاب الدماغ - الكساح -
	الاستقصاءات البيوفيزيائية والبيوكيميائية - نهضة الطب النفسي - الطب النفسي عند
906	الطفل - الحياة المدرسية
913	XIII - الأمراض الوبائية
918	XIV - السرطان
921	XV - أمراض الكولاجين (الأمراض الحلامية)
924	الفصل الثالث : تقدم الاستطبابات
925	I - مقاومة الوباء
926	II - الاستطباب البيولوجي
928	III - الاستطباب بالمضادات الحيوية
931	IV - الاستطباب الكيميائي
934	الأدوية الملطفة لطفقان القلب - مدرات البول -
935	V - الاستطباب الفيزيولوجي
	المهرمونات - الفيتامينات - نقل الدم - عوامل التخثر وعوامل ضد التخثر - الأدوية ضد
935	الحساسية - الاستطبابات الجديدة للجهاز العصبي -
944	VI - تقنيات الانعاش
946	VII - التطبيب بالأشعة
949	VIII - تطور الجراحة
	الجراحة التجبيرية - الجراحة الصدرية - الجراحة العصبية - جراحة الصمم - الجراحة في
950	مجال علم العين
955	استنتاج
957	مراجع الأقسام الخمسة الأولى

القسم السادس : الحياة العلمية

961	الفصل الأول : الحياة العلمية في أوروبا الغربية
	ألمانيا - المملكة المتحدة - فرنسا - البلدان المنخفضة ، بلجيكا وسويسرا - أوروبا المتوسط -
961	البلدان السكندنافية - أوروبا الوسطى
967	مراجع الفصل الأول
968	الفصل الثاني : العلم والحياة في الاتحاد السوفياتي

974	مراجع الفصل الثاني
975	الفصل الثالث : العلم في الولايات المتحدة في القرن العشرين
977	نهضة العلم الأميركي . المنعطقات الخامسة - في الصف الأول من العلم
984	مراجع الفصل الثالث
985	الفصل الرابع : العلم في اميركا اللاتينية القرنان التاسع عشر والعشرون
987	الطب - علم النبات - علوم الأرض
989	مراجع الفصل الرابع
990	الفصل الخامس : التجديد العلمي في البلدان الإسلامية
990	الإطار السياسي - العلم العربي وأوروبا - النهضة المتأخرة للعلم في العالم العربي - النظرة المستقبلية
997	مراجع الفصل الخامس
998	الفصل السادس : العلم في الهند من القرن التاسع عشر حتى أيامنا
998	I - العلم التقليدي
998	الرياضيات وعلم الفلك - الكيمياء - الطب الايورفيدي والطب الحديث
1001	II - العلم الحديث
1003	مراجع الفصل السادس
1004	الفصل السابع : انتشار العلم في فيتنام من الاحتلال إلى زوال الاستعمار
1004	الصراع بين المعرفة الفيتنامية والعلوم الغربي - بدايات الحركة الاصلاحية الفيتنامية - الاستعمار . اصلاح التعليم ونتائجه - الشعب الفيتنامي والعلوم - انتشار العلوم في فيتنام
1008	مراجع الفصل السابع
1009	الفصل الثامن : اشراق العلم الحديث في الشرق الأقصى
1009	التقدم الجديد في العلم الحديث في الصين (1911-1949) - الحياة العلمية في الصين الشعبية منذ 1949 - العلم الياباني في القرن العشرين
1015	مراجع الفصل الثامن
1016	الفصل التاسع : المنظمات العلمية الدولية
1016	ولادة ونشاط المجلس الدولي للأبحاث العلمية - الجهود فيما بين الدول
1021	فهرس الرسوم والجداول
1023	الفهرس العام

هذه الموسوعة

ساهم في تأليف هذه الموسوعة أكثر من
مئة عالم وباحث بإشراف البروفسور الكبير
رينيه تاتون ، المدير العلمي للمركز الوطني
للبحث العلمي في فرنسا .

وهي من أربعة مجلدات :
المجلد الأول :

العلم القديم والوسيط
من البدايات حتى سنة 1450 م .

المجلد الثاني :

العلم الحديث

من سنة 1450 إلى 1800 .

المجلد الثالث :

العلم المعاصر

القرن التاسع عشر .

المجلد الرابع :

العلم المعاصر

القرن العشرون .

